

## 2. Laseranwendungszentrum

# Präzision trifft Vielseitigkeit

Für viele Kunden beginnt die Zusammenarbeit mit Pulsar Photonics im Laseranwendungszentrum (LAZ). In enger Zusammenarbeit mit unserem technischen Vertrieb beraten wir Sie gerne bei Ihrer Anfrage und planen gemeinsam mit Ihnen die technologische Vorgehensweise.

Seit der Gründung von Pulsar Photonics sind die Applikationsentwicklung und die Serienfertigung zentrale Bestandteile unserer Dienstleistungen im Laseranwendungszentrum: In der Applikationsentwicklung bündeln wir Prozesskompetenz, um Machbarkeiten nachzuweisen, Prototypen zu entwickeln und Projekte auf eine mögliche Serientauglichkeit vorzubereiten. Serienkunden begegnen wir mit einem hohen Maß an Kontinuität. Das Bewusstsein für Production Excellence und die systematische Betrachtung der Produktionsprozesse führen zu einer hohen Liefertreue bei Einhaltung der technologischen Spezifikationen und damit zu zufriedenen Kunden.

Der Anlagenpark des Laserapplikationszentrums wächst sowohl in die Tiefe als auch in die Breite: Für das Kerngeschäft der Mikromaterialbearbeitung werden gezielt weitere UKP-Laseranlagen aufgebaut. Aber auch Laserstrahlquellen mit Pulsdauern im Nanosekunden- und (Q)CW-Bereich ergänzen diese Technologie und erweitern unser Bearbeitungsspektrum und unsere internen Handlungsmöglichkeiten. Betreten Sie mit uns die Welt der Lasermaterialbearbeitung.

Ihr **Philip Oster**, Leiter Laseranwendungszentrum (LAZ)

### Sie wünschen eine persönliche Beratung?

Zögern Sie nicht, uns anzurufen. Unser Vertriebsteam ist Ihnen gerne behilflich.

☎ +49 2405 495-04-14

✉ [applications@pulsar-photonics.de](mailto:applications@pulsar-photonics.de)





# Die Leistungen im Laseranwendungszentrum

2.1

Der Lichtimpuls als Werkzeug

**Die Technologie:  
Ultrakurzpulslaser**

Unser Werkzeug: Ultrakurzpulslaser22

Das Werkzeug für höchste Produktqualität23



2.3

Klein, kleiner, UKP!

**Mikrobohren**

Lasermikrobohren32

Laserbohren von Mikrosieben33

Mikrobohrungen mit Durchmesser < 10 µm34

Mikrobohren mit hohem Aspektverhältnis35

QCW-Bohren von Sieben36



2.2

Detailreiche Bearbeitungen auf Mikrometer-Ebene

**Mikrostrukturieren**

Bearbeitung von Werkzeugeinsätzen26

Mikrobearbeitung von sprödharten Materialien27

Bearbeitung von Kunststoffen28



2.4

Feine Strukturierung, große Auswirkung

**Funktionalisierung von Oberflächen**

Dünnschichtabtrag & Leiterplatten40

Aufrauung von Oberflächen41

Füge- und Klebprozesse42

Reduzierung der bakteriellen Anhaftung43

Gleitringe, Lager oder Dichtungen44

Widerstandsfähige Markierungen46



2.5

Die Kante mit Qualität

**Laserfeinschneiden**

Dünne Folien50

Sprödharte Werkzeuge51

Präzisionsschnitte mit senkrechten Schnittkanten52

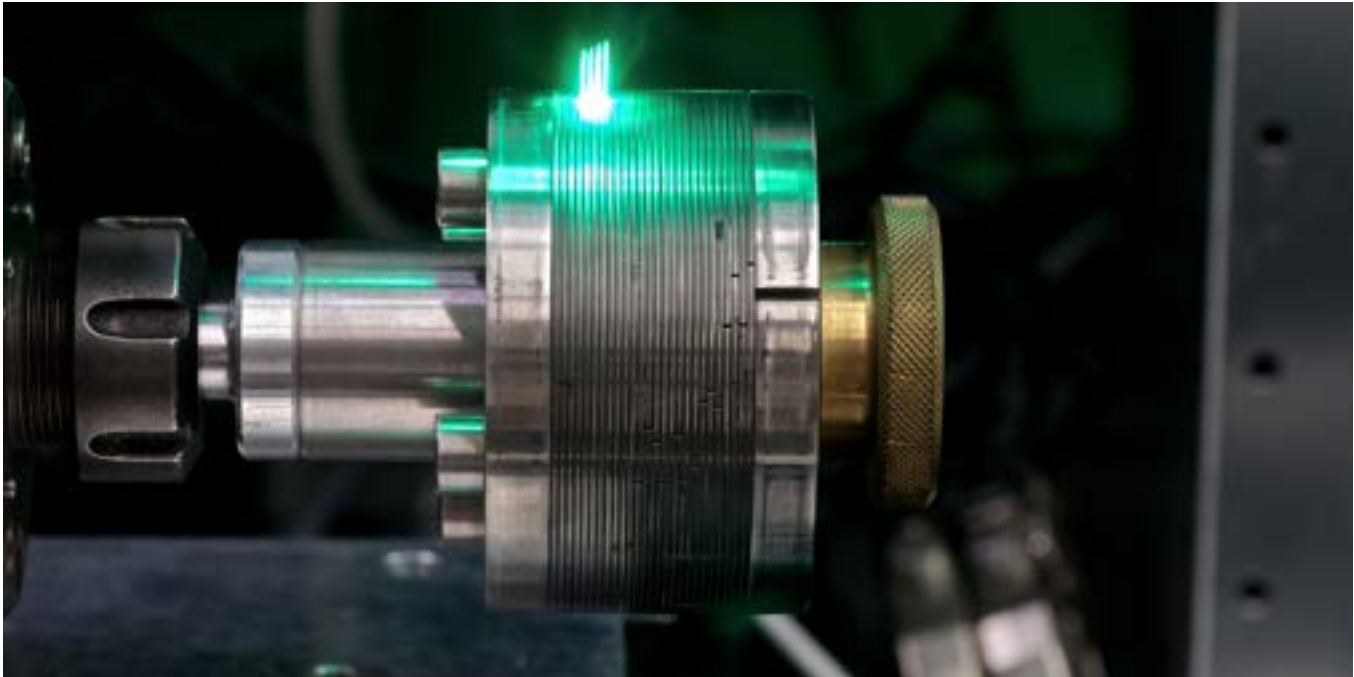




# Unser Werkzeug: Ultrakurzpulslaser

## Materialabtrag durch Sublimation

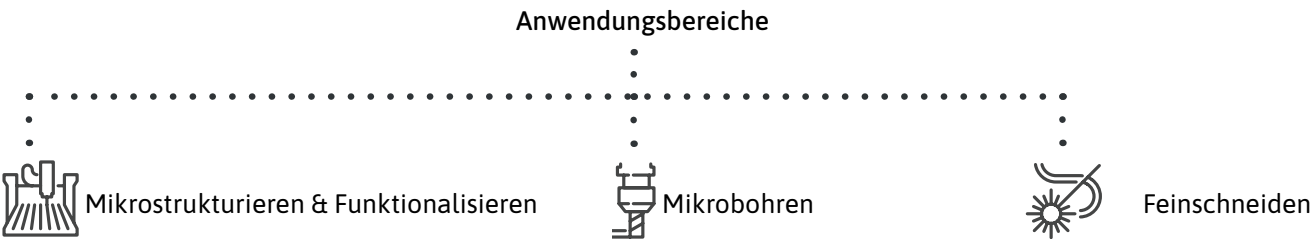
Ultrakurzpulslaser sind ein in der Lasertechnik etabliertes Werkzeug für die Mikromaterialbearbeitung mit höchster Präzision. Der Laser emittiert die Strahlung in Form von (ultrakurzen) Pulsen mit einer Dauer im Pikosekunden- ( $10^{-12}$  s) bis Femtosekundenbereich ( $10^{-15}$  s). Die Intensität der Pulse ist dabei so hoch, dass das Material ohne ausgiebige Schmelzphase sofort verdampft. Ein weiterer Vorteil der hohen Intensitäten liegt darin, dass alle Materialien bearbeitet werden können.



Strukturierungsbeispiel von Kolbenringen mit einem grünen Pikosekundenlaser

## Mikrometer für Mikrometer

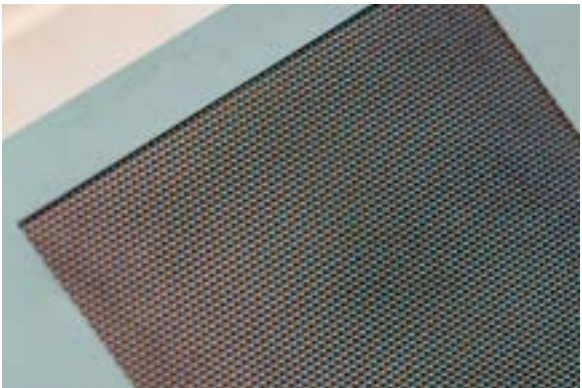
Aufgrund dieser charakteristischen Ablationseigenschaften des UKP-Lasers kann ein Materialabtrag im Mikrometermaßstab erreicht werden. Die lateralen Auflösungsgrenzen im Mikrometerbereich und der tiefengenaue Abtrag bis hin in den Nanometerbereich ermöglichen eine komplett neue Bearbeitungsqualität wodurch stetig neue Applikationen erschlossen werden können.



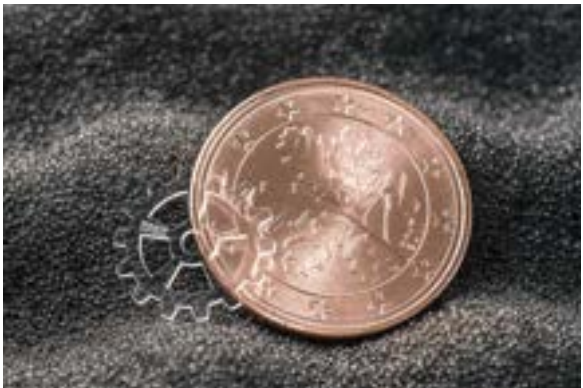
# Das Werkzeug für höchste Präzision

## Präzises Werkzeug in der Materialbearbeitung

Die meist deutlichen Vorteile hinsichtlich der Qualität und auch der Auflösung sind oftmals der Auslöser für einen Wechsel von einem etablierten Bearbeitungsverfahren hin zur UKP-Laserbearbeitung. Die Anwendungsvielfalt des Lasers im Bereich Mikrostrukturieren, Mikrobohren oder auch beim Feinschneiden ist fast grenzenlos.



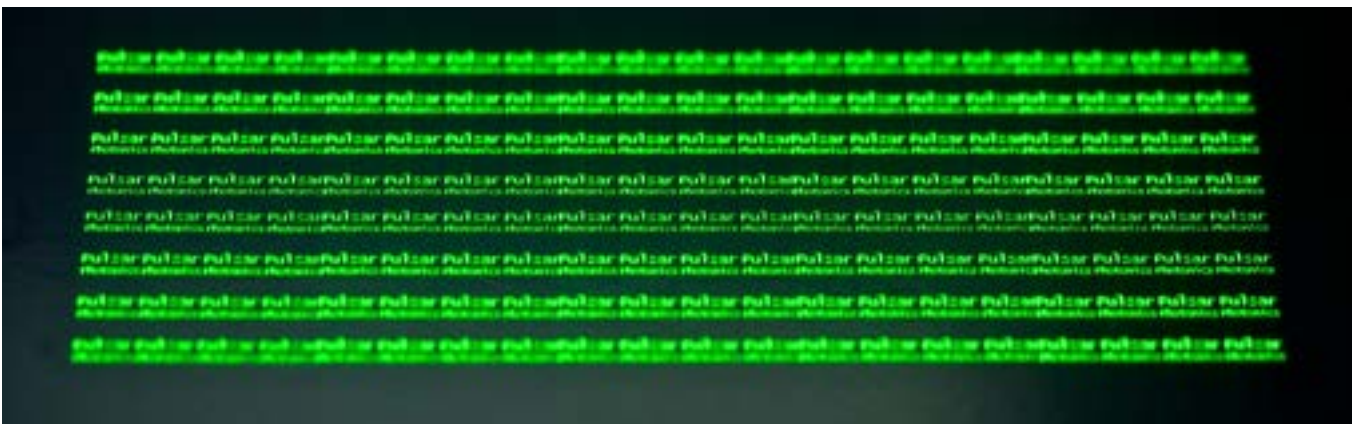
Werkzeugeinsatz für Mikrospritzguss und Mikroprägen



Laser-feingeschnittenes Glaszahnrad mit Markierung

## Die Vorteile der Materialbearbeitung mit Ultrakurzpulslasern

- Alle Materialien können bearbeitet werden
- Hohe laterale Strukturauflösung bis zu  $1\text{ }\mu\text{m}$
- Tiefenauflösung bis zu  $< 1\text{ }\mu\text{m}$
- Geringste thermische Einflusszonen
- Hohe Reproduzierbarkeit
- Keine Nachbearbeitung erforderlich



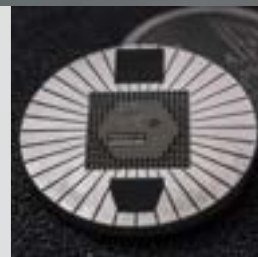
Materialbeschriftungen durch Laser



## 2.2 Mikrostrukturieren im Überblick

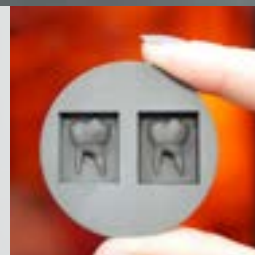
### 1 Bearbeitung von Werkzeugeinsätzen

26



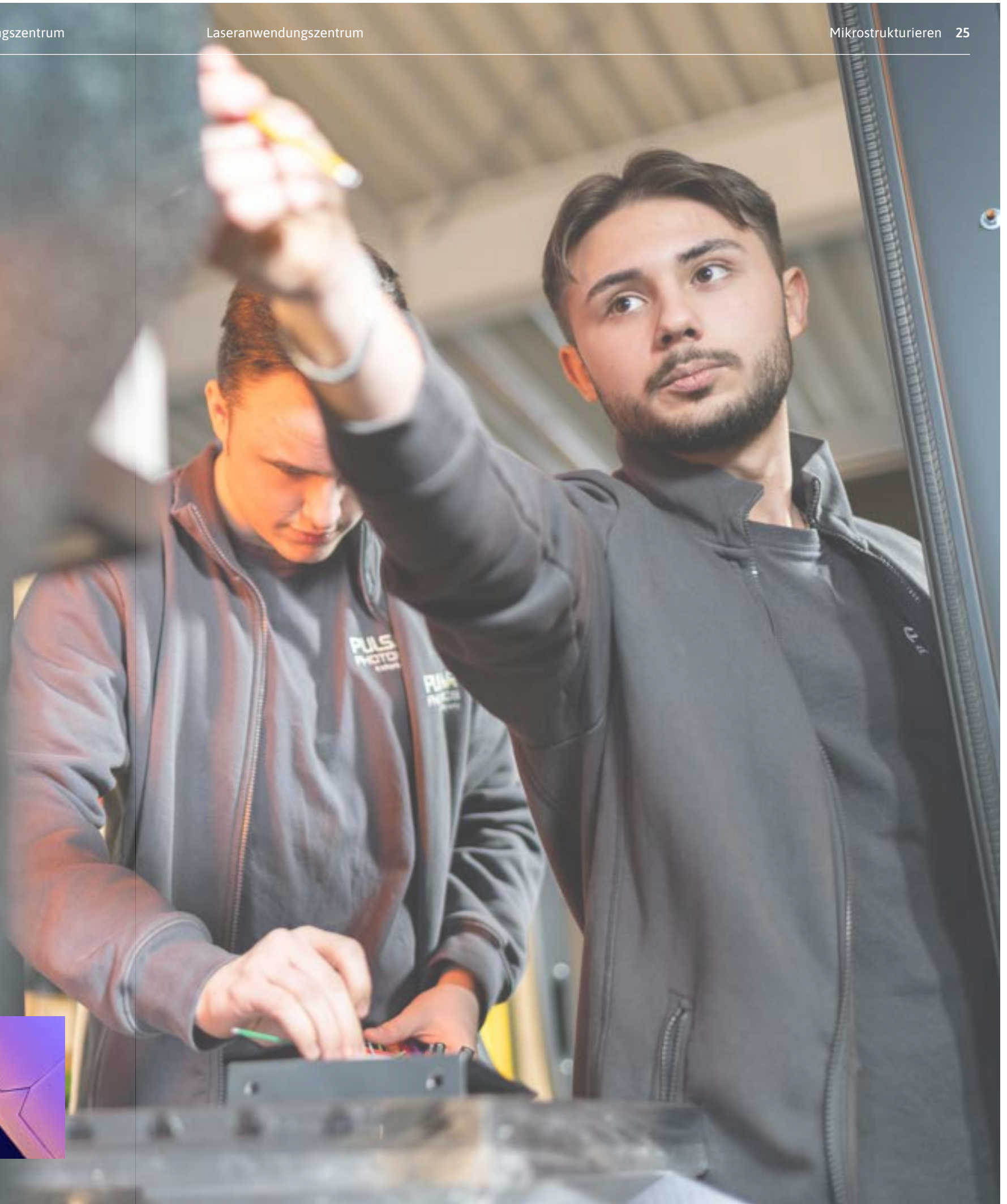
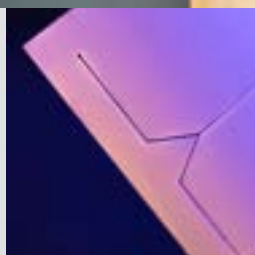
### 2 Bearbeitung von sprödharten Materialien

27



### 3 Bearbeitung von Kunststoffen

28

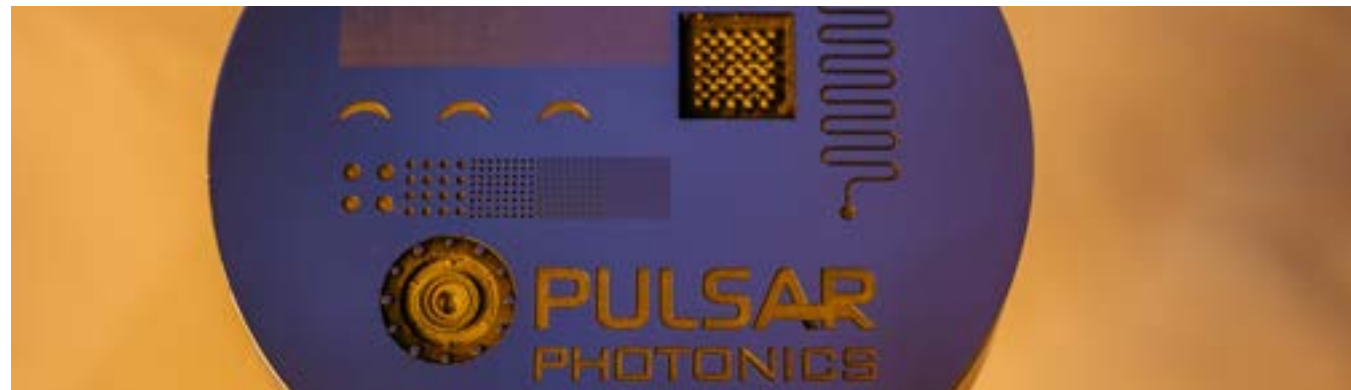




# Bearbeitung von Werkzeugeinsätzen

## Lasermikrostrukturierung von Edelstahl, Hartmetall oder Aluminium zur Herstellung von replikativen Werkzeugen

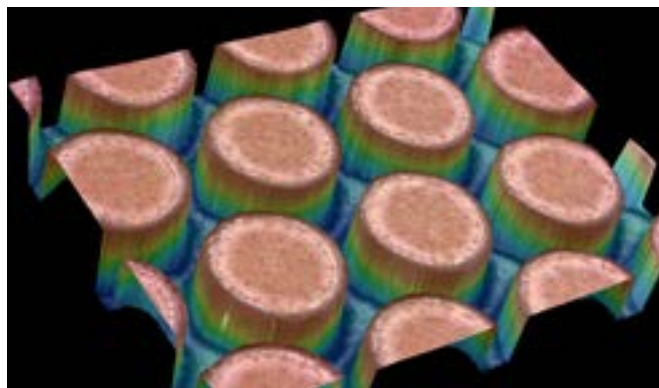
Die Lasermikrostrukturierung hat sich zunehmend als Herstellungsverfahren für die Werkzeugtechnik etabliert. Wesentliche Vorteile einer Laserstrukturierung sind neben einem Höchstmaß an Geometrie- und Materialflexibilität die geringen erreichbaren Strukturgrößen und Oberflächenrauheiten. Darüber hinaus ermöglichen die durchgängig digitalen Prozessketten schnellstmögliche Designänderungen mit signifikanten Auswirkungen auf die Produktionsflexibilität.



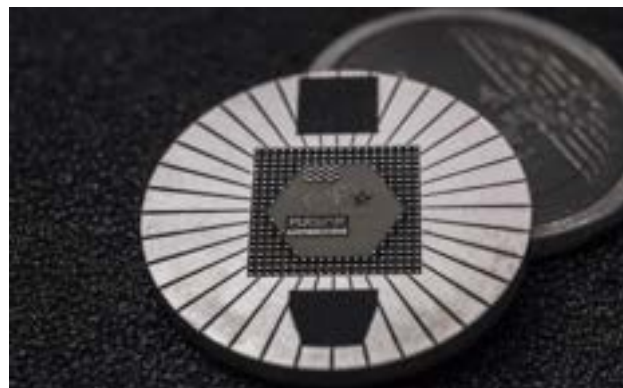
Werkzeugeinsatz mit Demostrukturen

### Technische Details

- Strukturauflösung: typ. ab 5 µm
- Oberflächenrauheit: typ. Ra = 1 µm, kleinere Rauheiten durch Laserpolitur
- Aspektverhältnis: bis 1:3



Strukturierungsbeispiele in Aluminium



Prägewerkzeug in Edelstahl und Hartmetall

# Bearbeitung von sprödharten Materialien

## Keramik, Glas und Halbmetalle

Die sehr hohen Lichtintensitäten, die bei der Mikrobearbeitung mit UKP-Lasern auftreten, ermöglichen die Bearbeitung von sprödharten Werkstoffen, bei denen mechanische und andere Laserverfahren an ihre Grenzen stoßen. So können (technische) Keramiken (z.B. Siliziumcarbid), Gläser oder Halbmetalle rückstandsfrei und mit hoher Geometriefreiheit strukturiert werden. Gerade die Einbringung von runden Elementen oder spitz zulaufenden Kavitäten durch den UKP-Laser birgt komplett neue Bearbeitungsmöglichkeiten dieser Materialien.



Strukturierungsbeispiele in einer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik



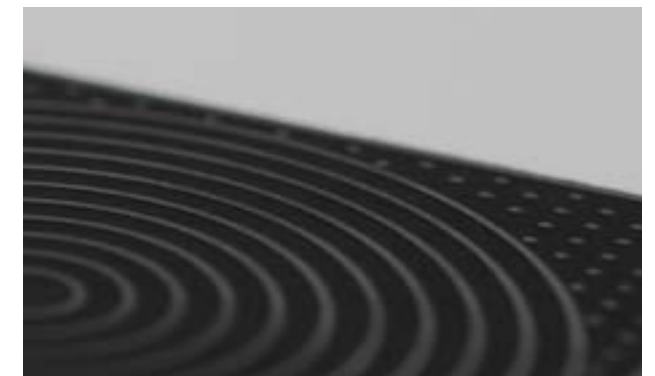
2,5D Strukturierung: Wurzel eines Zahnimplantates aus einer Hochleistungskeramik

### Technische Details

- Materialien: Keramik, Gläser, Halbmetalle, sprödharte Materialien
- Materialstärken: 5-300 µm
- Strukturauflösung: typ. ab 5 µm



Zuschnitt und Strukturierung eines Glaszahnrad

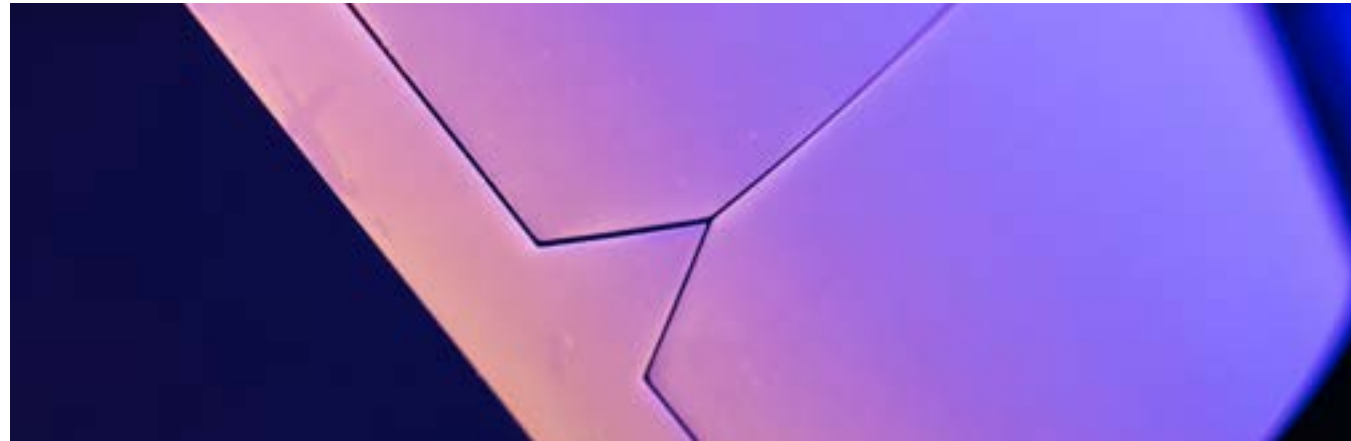


Strukturierungsbeispiel von SiC

# Bearbeitung von Kunststoffen

## UKP als Lösung für die Bearbeitung von Polymeren

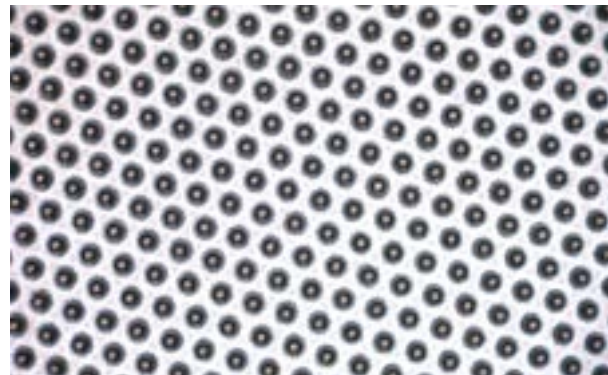
Viele Fertigungsverfahren stoßen in der Kunststoff-Bearbeitung an ihre Grenzen: Die Elastizität, Isolationswirkung und meist niedrige thermische Stabilität der polymeren Werkstoffe erschweren vor allem die Mikrobearbeitung. Die UKP-Lasertechnologie bietet eine gute Lösung für die Kunststoff-Bearbeitung. Durch die extrem kurze Wechselwirkungszeit zwischen Laserpuls und Werkstoff wird das Material schlagartig verdampft ohne das umgebene Material aufzuheizen oder aufzuschmelzen. Abgeformte Kunststoffbauteile oder Materialien in Ihrer Rohform können so präzise strukturiert werden.



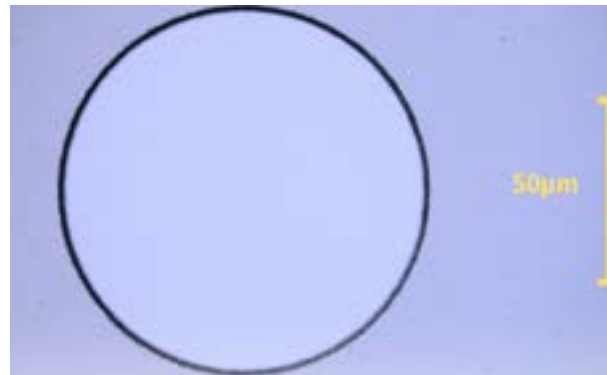
Laserbearbeitung einer Teflonfolie

## Technische Details

- Materialien: Polymere, PEEK, POM, PE, PP, PTFE uvm.
- Materialstärken: 5-300  $\mu\text{m}$
- Strukturauflösung: typ. ab 5  $\mu\text{m}$



Näpfchenstruktur in POM



Bohrung in PP



## 2.3 Mikrobohren im Überblick

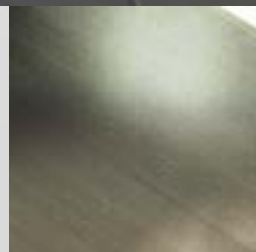
### 1 Lasermikrobohren

32



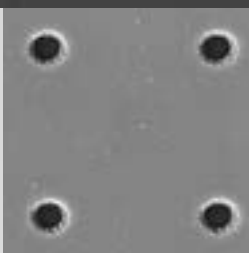
### 2 Laserbohren von Mikrosieben

33



### 3 Mikrobohrungen mit Durchmesser < 10 µm

34



### 4 Mikrobohren mit hohem Aspektverhältnis

35



### 5 QCW-Bohren von Sieben

36





# Lasermikrobohren

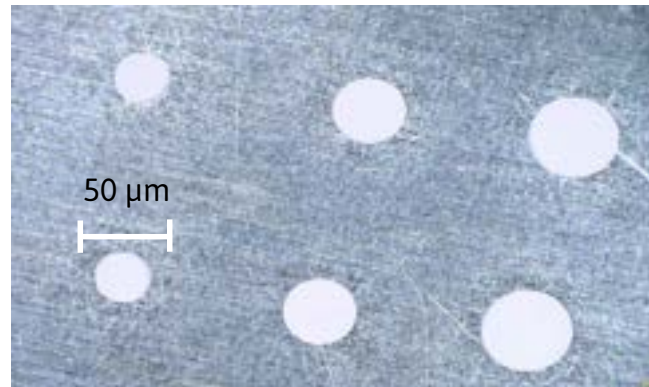
## Präzisionsbohrungen mit dem Laser

Das Laserbohren ist ein berührungs- und spanloses Bohrverfahren, das sowohl Feinbohrungen von wenigen Mikrometern sowie Präzisionsbohrungen bis zu einigen Millimetern Durchmesser ermöglicht. Hierbei können je nach Anforderung verschiedene Laserbohrverfahren eingesetzt werden. Feinstbohrungen in dünnen Folien werden typischerweise mit einem UKP-Laser scannerbasiert eingebracht. Für höhere Materialstärken eignen sich (Q-)CW-Laser oder UKP-Laser mit Sonderoptiken.

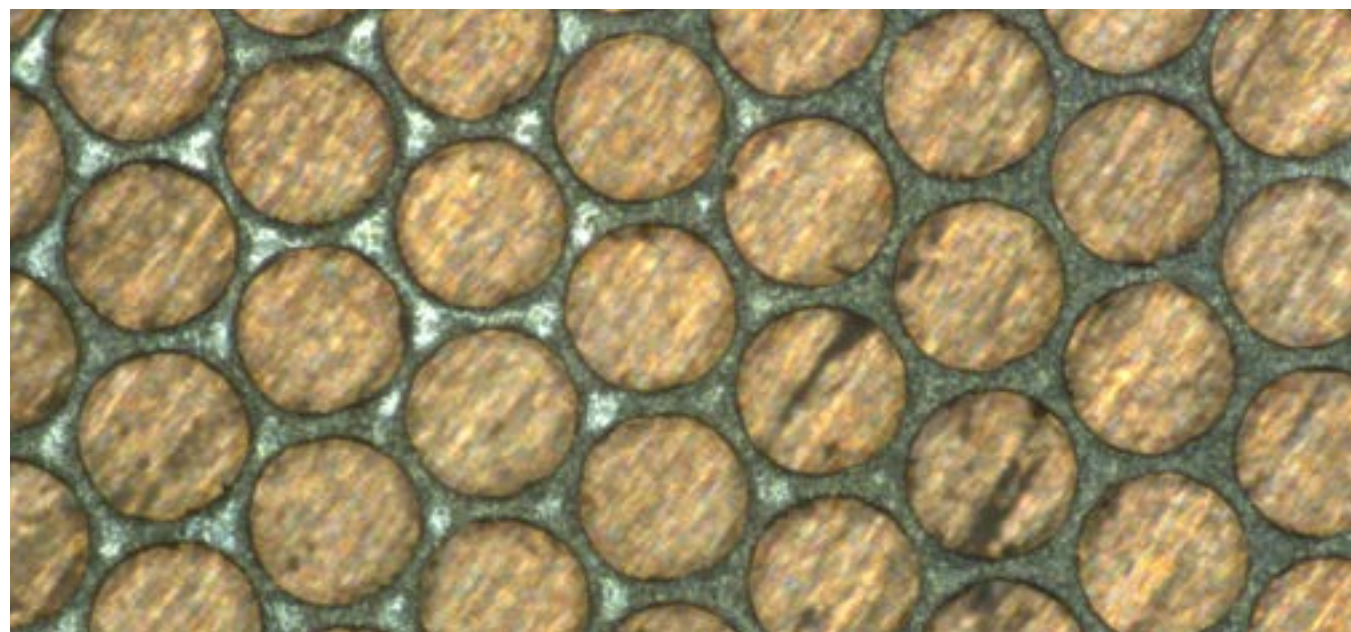
- Aufgrund des schmelzfreien Ablationsprozesses werden durch das UKP-Laserbohren nachbearbeitungsfreie Präzisionsbohrungen erzeugt
- Anwendungsbeispiele sind Düsenbohrungen, Siebe und Filter, Bohrungen in Rohren oder auch Glasvials
- Vorteile liegen in einer hohen Reproduzierbarkeit sowie einer hohen Rundheit



Lasermikrobohrungen in einer Wolframfolie



Mikrobohrungen in Metallfolie



Mikrobohrungen mit hoher Packungsdichte

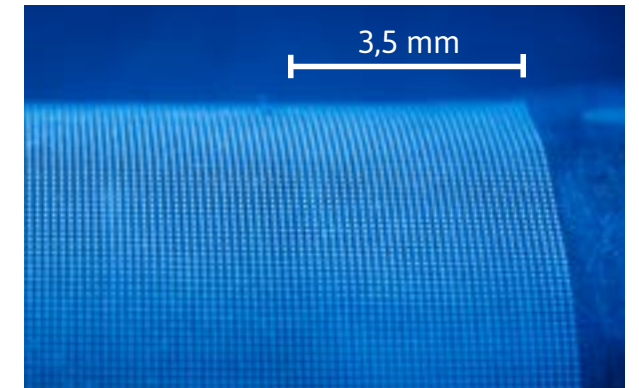
# Laserbohren von Mikrosieben

## Lasergebohrte Mikrosiebe als Alternative zu Ätzverfahren und Galvanik

Durch einen Lasermikrobohrprozess können Siebe aus Folien und dünnen Platten aus nahezu beliebigen Materialien mit hoher Bohrdichte und großem Aspektverhältnis hergestellt werden. Bohrlochdurchmesser und Bohrlochabstände sind hier fast stufenlos einstellbar wodurch eine hohe Flexibilität und Bandbreite an Produkten herstellbar ist. Gerade im Bereich der metallischen Mikrosiebe ist die UKP-Laserbearbeitung dadurch eine echte Alternative gegenüber Ätzverfahren oder elektrochemischen Abscheideverfahren. In ausgewählten Prozessen konnte durch den Einsatz lasergebohrter Edstahlsiebe der Durchsatz in der Applikation um den Faktor 4 gesteigert und die Lebensdauer der Siebe deutlich erhöht werden.



Mikrosieb für die Verfahrenstechnik



Lasergebohrte PTFE-Membran, Bohrungsdurchmesser 25 µm

## Technische Details

- Materialien: Edelstähle, Aluminium, Titan, Keramik
- Materialstärken: 5-100 µm
- Bohrungsdurchmesser: < 10 µm - 50 µm
- Anzahl der Bohrungen pro Bauteil: typ. bis 2 Mio Bohrungen

## Anwendungen

- Mikrofiltration
- Analysetechnik
- Mikrofluidik
- Mikro-Dispenser/ Low-Volume-Dispenser



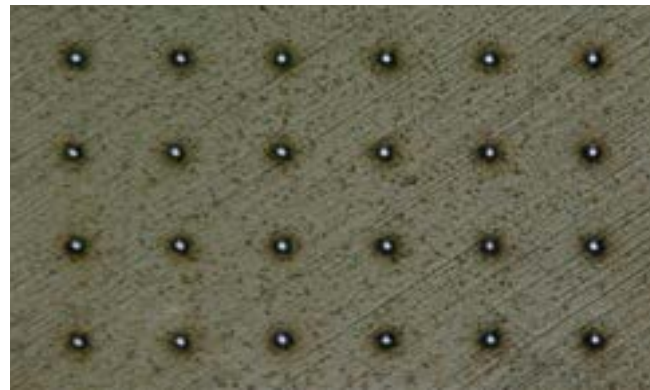
Mikrobohrungen für eine Filterapplikation



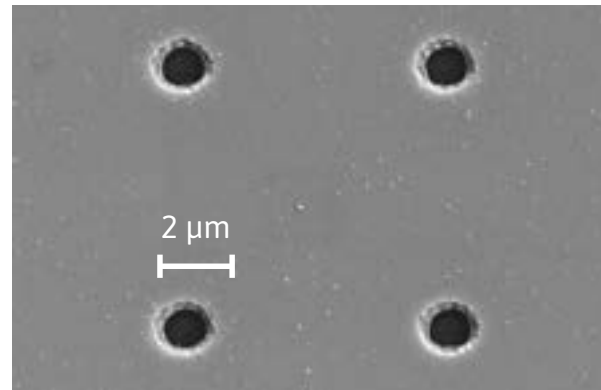
# Mikrobohrungen mit Durchmesser $< 5 \mu\text{m}$

## Mikrobohrungen im Grenzbereich der Lasertechnik

Insbesondere in der Messtechnik, der Medizintechnik und bei der industriellen Separation besteht zunehmender Bedarf an definierten Mikrobohrungen im einstelligen Mikrometerbereich. Mit der von Pulsar Photonics entwickelten Microscan-Technologie lassen sich Bohrungsdurchmesser bis zu kleiner  $2 \mu\text{m}$  reproduzierbar herstellen. Durch Verwendung von UKP-Lasern lassen sich auch in diesen Größenbereichen hochqualitative Bohrungen erzeugen.



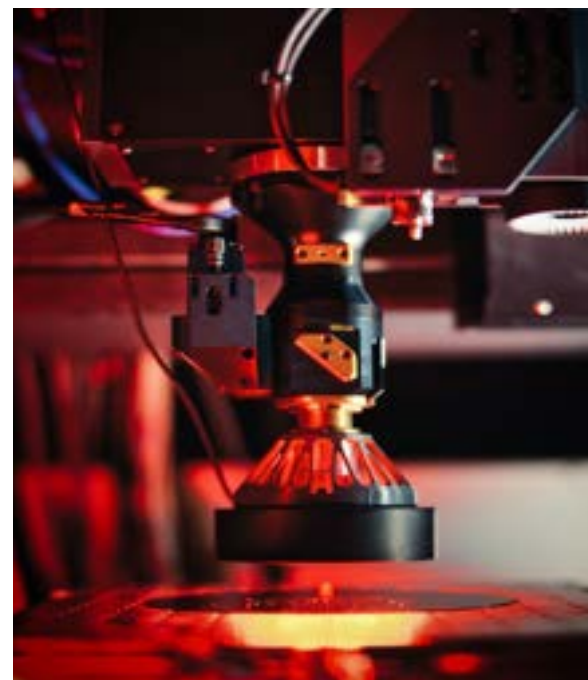
Mikrobohrungen in Edelstahlfolie  $t = 30 \mu\text{m}$  mit Durchmesser  $< 4 \mu\text{m}$



Mikrobohrungen in metallischer Dünnschicht mit Durchmesser von  $1.6 \mu\text{m}$  (REM-Aufnahme)

## Technische Details

- Bohrungsdurchmesser bis  $< 2 \mu\text{m}$
- Materialstärken bis zu  $50 \mu\text{m}$
- Anzahl der Bohrungen: 1-10.000
- Variation Bohrungsdurchmesser je nach Applikation
  - Im gleichen Bearbeitungsschritt: bis  $< 5\%$  STABW
  - Zwischen Bauteilen: bis  $< 10\%$  STABW
- Materialien: Metalle, Keramik, Dünnschichtsysteme



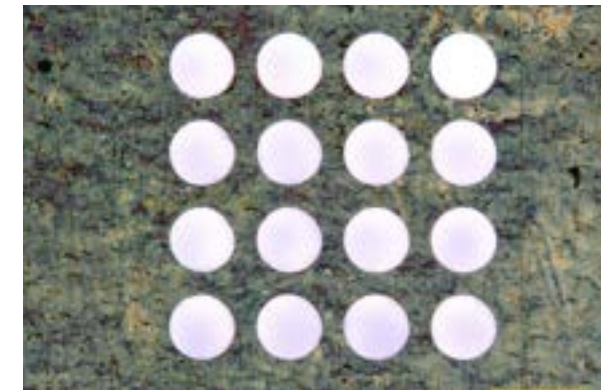
MSE: Hochauflöste Bearbeitung mit der Microscan Extension

# Mikrobohren mit hohem Aspektverhältnis

## Präzisionsbohrungen in funktionalen Bauteilen

Durch Verwendung einer Wendelbohroptik lassen sich präzise Mikrobohrungen in Bauteilen mit Materialstärken bis in den Millimeterbereich einbringen. In Kombination mit einem Ultrakurzpulslaser sind Bohrungen höchster Güte in nahezu jedem Material herstellbar. Der Einsatz der Spezialoptik ermöglicht es zylindrische Bohrungsverläufe herzustellen, wodurch der Bohrungsaustritt den gleichen Durchmesser wie der Bohrungseintritt annehmen kann.

Anwendungsbeispiele sind Einspritzdüsen, Spinddüsen, Enlüftungsbohrungen und Filteranwendungen.



Matrix von Präzisionsbohrungen in Stahl



Lasergebohrte Einspritzdüse

## Technische Details

- Besonderheit: Zylindrischer Bohrungsverlauf
- Materialien: Stähle, Keramiken, Kunststoffe, uvm.
- Materialstärken: bis zu  $1 \text{ mm}$
- Typisches Aspektverhältnis: bis 1:15
- Bohrungsdurchmesser ab  $50 \mu\text{m}$



Matrix von Präzisionsbohrungen in Messing



# QCW-Bohren von Sieben

## Schmelzdominante Bohrprozesse für hohe Materialstärken und hohe Bohrraten

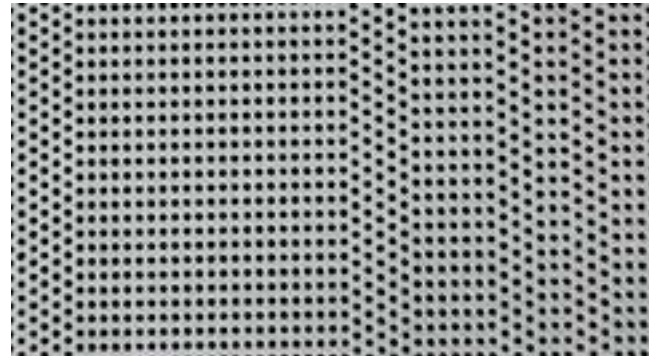
Materialstärken von einigen Millimetern sind für den verdampfungsdominanten UKP-Prozess eine echte Herausforderung hinsichtlich der erzielbaren Bohrraten. Bei vielen Anwendungen mit dieser Materialstärke kommt daher ein gütegeschalteter Dauerstrichlaser, auch als Quasi-CW-Laser (QCW) zum Einsatz.

Anders als im UKP-Bereich wird bei diesem Lasertyp das Material nicht verdampft sondern aufgeschmolzen. Das durch den Laser aufgeschmolzene Material wird durch einen zugeschalteten, axialen Crossjet (Druckluft, inerte Gase) ausgetrieben und die Bohrung entsteht.

Schmelzrückstände, die an der Ober- oder Unterseite des Materials anhaften müssen durch einen nachfolgenden Reinigungsschritt entfernt werden. Trotz der hohen Materialstärken können Bohrraten im Bereich von 10 - 100 Hz erreicht werden.



Schmelzdominanter QCW-Bohrprozess



QCW-Bohrungen in einem Sieb

## Technische Details

- Material: Vorwiegend für Stahlbearbeitungen geeignet
- Materialstärken: 0,5 mm - 2,5 mm
- Bohrraten: 10 - 100 Hz



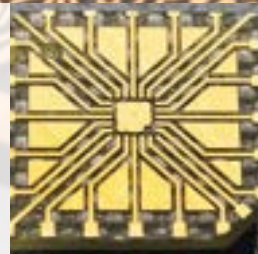
QCW-Bohrungen eines Siebes (nach Reinigungsschritt)



## 2.4 Funktionalisierung von Oberflächen im Überblick

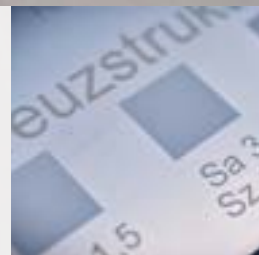
### 1 Dünnschichtabtrag & Leiterbahnenbearbeitung

40



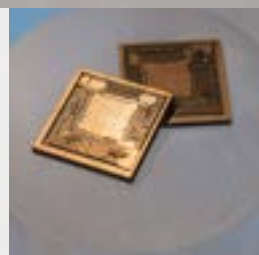
### 2 Aufrauung von Oberflächen

41



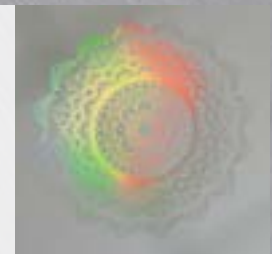
### 3 Oberflächenbehandlung für Füge- und Klebprozesse

42



### 4 Reduktion der bakteriellen Anhaftung

43



### 5 Funktionalisierung von Gleitringen, Lagern oder Dichtungen

44



### 6 Widerstandsfähige Markierungen

46



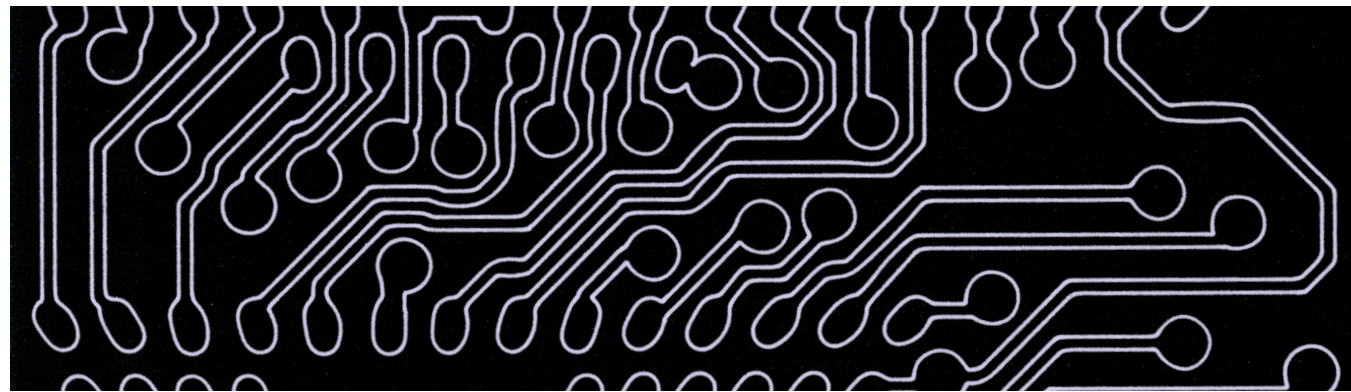


# Dünnschichtabtrag & Leiterbahnenbearbeitung

## Selektive Bearbeitung von dünnen Materialschichten

Mit Ultrakurzpulslasern lassen sich Dünnschichtsysteme in allen drei Raumdimensionen hochselektiv bearbeiten. So können beispielsweise metallisierte Oberflächen auf einem dielektrischen Grundsubstrat per Laserabtrag mikrometergenau mit Isolationsgräben versehen und somit für Anwendungen in der Elektronik und Sensorik funktionalisiert werden.

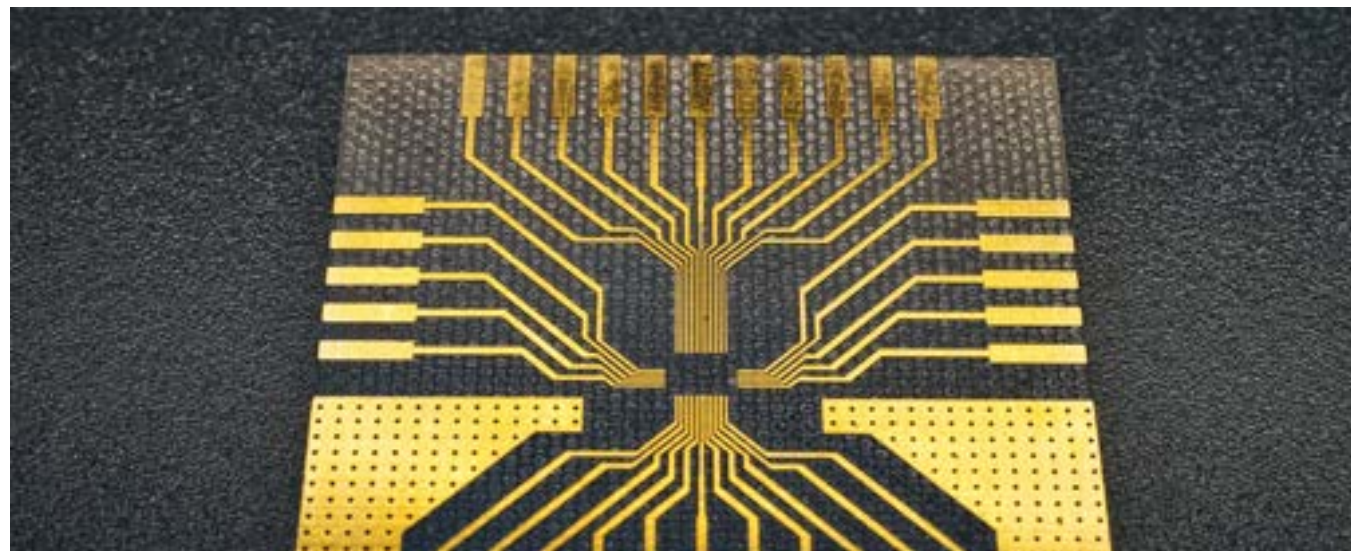
Durch geeignete Wahl der Laserparameter ist es dabei möglich die metallische Oberfläche zu entfernen ohne das unterliegende Grundsubstrat zu entfernen oder wesentlich zu beschädigen.



Isolationsgräben auf einem metallisierten Keramiksubstrat

## Technische Details

- Laterale Auflösung: typ. 5  $\mu\text{m}$ , bis zu 1  $\mu\text{m}$
- Tiefenauflösung: typ. 100 nm, selektive Schichttrennung möglich
- Anwendungen: Sensorik, Elektronik, Solarzellen



Durch Laserabtrag einer dünnen Goldschicht hergestellter Interposer für Höchstfrequenzanwendungen

# Aufrauung von Oberflächen

## Gezielte Vergrößerung der Materialoberflächen durch Laserabtrag

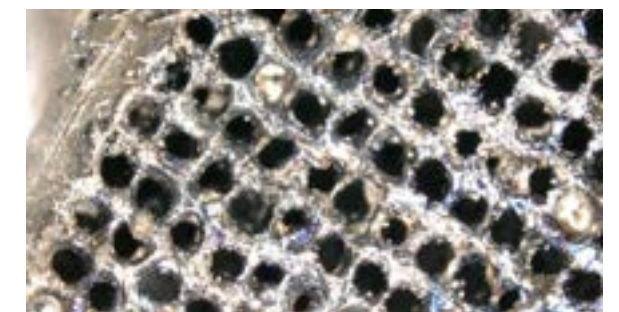
Glatte Materialoberflächen können durch einen gezielten Laserabtrag künstlich aufgeraut und funktionalisiert werden. Die Aufrauung kann dabei deterministisch in Form von einfachen Linien- oder Kreuzstrukturen erfolgen oder durch die Einbringung einer statistisch, zufälligen Anordnung.

Für Aufrauungen im Mikrometerbereich eignet sich der UKP-Laser. Durch den feinen Materialabtrag können Ra- und Sa-Werte gezielt eingestellt werden. Für makroskopische Bearbeitungen wird der (Q)CW-Laser eingesetzt wodurch tiefere Strukturen hergestellt und größere Flächen bearbeitet werden können.

Das Aufrauen von Materialoberflächen eröffnet neue Möglichkeiten im Bereich der Verbindungstechnik artungleicher Werkstoffe oder für Klebeverbindungen.



Mikroskopische Aufrauung von Keramik



Makroskopische, statistische Aufrauung in Edelstahl

## Technische Details

- Mikroskopische- und makroskopische Aufrauung von Oberflächen
- Ra- und Sa-Werte einstellbar ab  $Ra/Sa = 1 \mu\text{m}$
- Stufenlose Anpassungen der Rauheiten



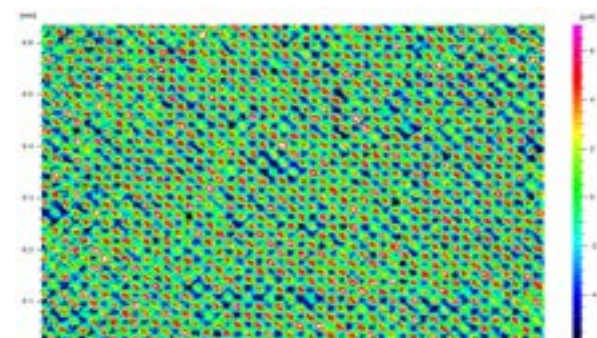
Erzeugung von definierten Ra-/Sa-Werten in Keramik



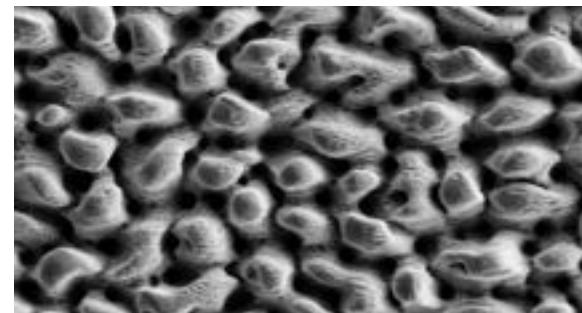
# Oberflächenbehandlung für Füge- und Klebprozesse

## Verbesserung der Füge- und Klebeigenschaften

Mit dem Einsatz einer immer größeren Materialvielfalt, z.B. in elektronischen Produkten, gewinnen Fügeprozesse artungleicher Werkstoffe (z.B. Metall-Kunststoff-Verbindungen) zunehmend an Bedeutung. Auch für Klebeverbindungen kann durch die Oberflächenvergrößerung durch den Laser eine verbesserte Anhaftierung erzeugt werden. Die Qualität und die Festigkeit der Fügeverbindung hängt bei beiden Prozessen entscheidend von der Oberflächenbeschaffenheit der Fügepartner ab. So kann durch Aufrauung von Metall- und Keramikoberflächen durch gezielte Laserstrukturierung die Kontaktfläche der Fügepartner deutlich vergrößert werden.



Kreuzschraffur mit nur wenigen Mikrometern Abtragtiefe (ca. 10 µm)



Hierarchische Strukturen in Stahl mit Hinterschneidungen (REM-Aufnahme)

## Selektives Aufrauen

Bei elektronischen Baugruppen, medizinischen Produkten sowie im Automobilbau werden Fügeprozesse artungleicher Materialien wie zum Beispiel Metall-Kunststoff oder Metall-Keramik Verbindungen wichtiger. Als typische Fügeverfahren werden hier Klebeverbindungen oder das Laser-Transparent-Schweißen eingesetzt.

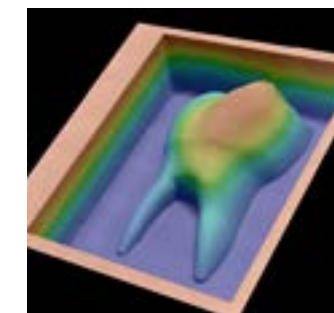


Laserbearbeitung als Vorbereitung der Materialien für einen nachfolgenden Fügeprozess

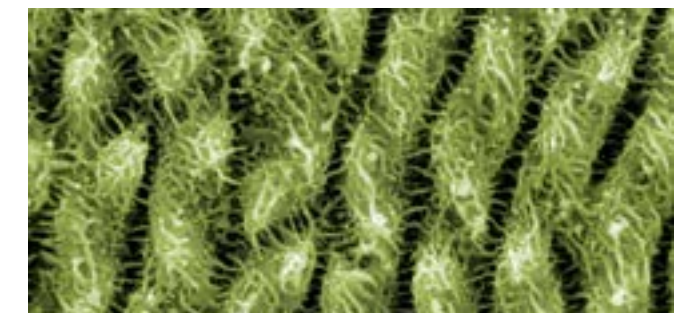
# Reduktion der bakteriellen Anhaftung

## Strukturen zur Veränderung der Kontakteigenschaften

Durch eine gezielte Materialbearbeitung mit einem Ultrakurzpulslaser können Oberflächen ihre funktionale Eigenschaften stark verändern. In der Regel wird hierfür eine Überlagerung von makroskopischen- und mikroskopischen Strukturen erzeugt. Durch die Laserbearbeitung ändert die Oberfläche ihre Kontakteigenschaften zu einem darauf befindlichen Medium. Dadurch kann die Ausbreitung von Bakterien unterdrückt, oder das Zellwachstum gefördert werden. Die mikroskopischen Strukturen können dabei derart klein werden, dass sie eine Auflösung im Nanometerbereich aufweisen.



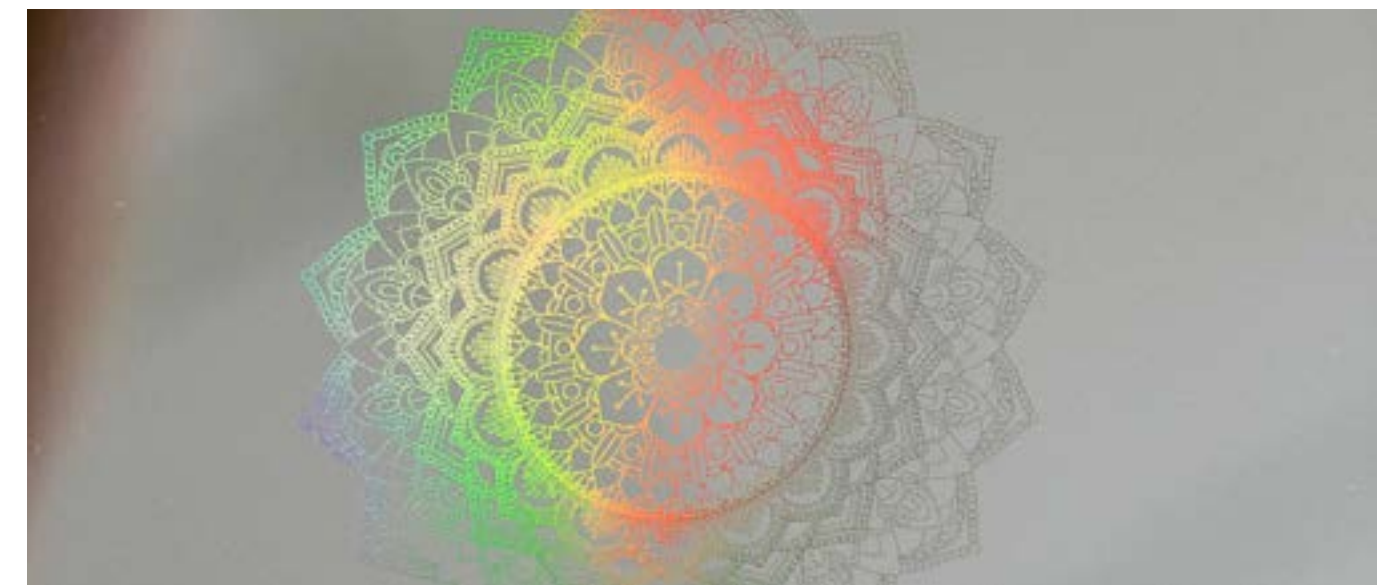
2,5D Struktur eines keramischen Zahnimplantates



Durch Laserstrukturierung erzielte biomimetische Oberfläche

## Abweisung oder Anhaftung - Was soll's sein?

Gezielt können diese Nanostrukturen durch eine Spezialoptik hergestellt werden, die zwei oder mehr Laserstrahlen im Fokus überlagert und dadurch eine Laserstrahlinterferenz erzeugt. In Kombination dieser Struktur mit einer makroskopischen Struktur kann das Zellwachstum verbessert werden, hydrophobe oder hydrophile Eigenschaften eingestellt oder die bakterielle Anhaftung an der Oberfläche reduziert werden. Auch Farbeffekte zur Bauteilkennzeichnung lassen sich so erzeugen.



Lichtbeugung an Nanometerstrukturen



# Funktionalisieren von Gleitringen, Lagern oder Dichtungen

## Veränderung der Reibeigenschaften, des Verschleiß oder der Leckage durch Mikrostrukturierung

Im Rahmen der Erhöhung von Umweltauflagen insbesondere im Bereich Automotive besteht ein zunehmender Bedarf an der Optimierung tribologischer Systeme. Hierzu zählen auch Gleitringe, die beispielsweise in Pumpen, Lagern und Dichtungen eingesetzt werden. Durch eine Funktionalisierung der Oberfläche mit Mikrostrukturen können gezielt tribologische Eigenschaften eingestellt werden. Der UKP-Prozess erlaubt die Bearbeitung von beinahe allen Werkstoffen mit hoher Strukturauflösung.



Funktionalisierungsbeispiele von SiC-Gleitringen

## Funktionalisierungsoptionen

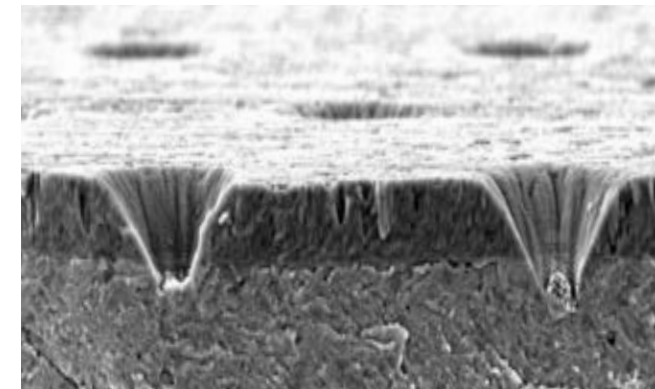
- Einbringen von hydrodynamischen Keilspalten mit Winkeln bis  $< 0.1^\circ$
- Einbringen von Näpfchenstrukturen zum hydrodynamischen Druckaufbau ohne Aufwürfe und ohne Schädigung von Randbereichen
- Bearbeitung aller gängigen Materialien auch Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), Siliziumcarbid (SiC), Oxidkeramiken



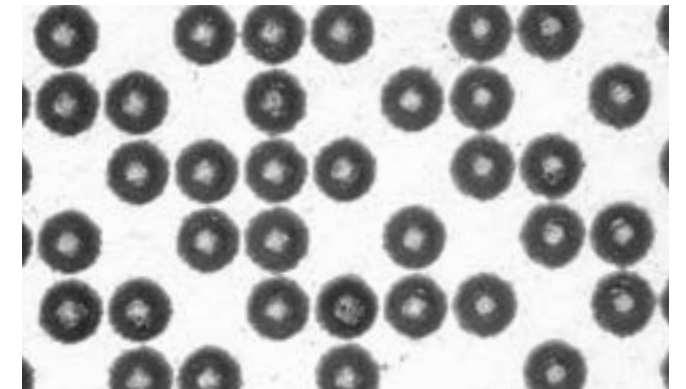
Gleitringe mit funktionalisiertem Wirkbereich

## Näpfchenstruktur zur gezielten Beeinflussung der Stribeck-Kurve

Durch eine mikrometergenaue Strukturierung der funktionalen Flächen können Reibeigenschaften verbessert werden. Näpfchen dienen hierbei als Schmiermitteldepot und bauen einen hydrodynamischen Druck auf, sodass die Reibpartner gegeneinander aufschwimmen und der Verschleiß verringert wird. Die Beschaffenheit der Näpfchen in Form, Anordnung und Anzahl ist durch eine digitale CAX-Kette schnell adaptierbar.



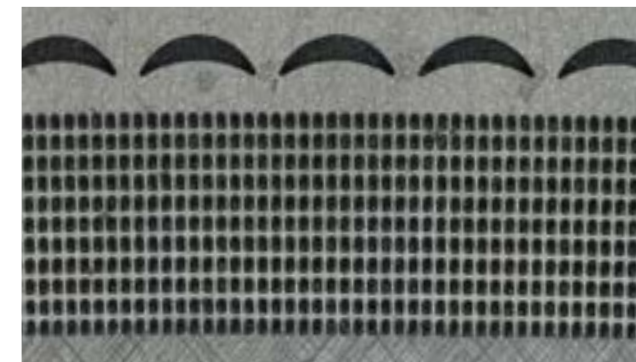
Näpfchenstrukturen in PVD-Beschichtung (REM-Aufnahme)  
Quelle: Abschlussbericht BMBF „Smartsurf“



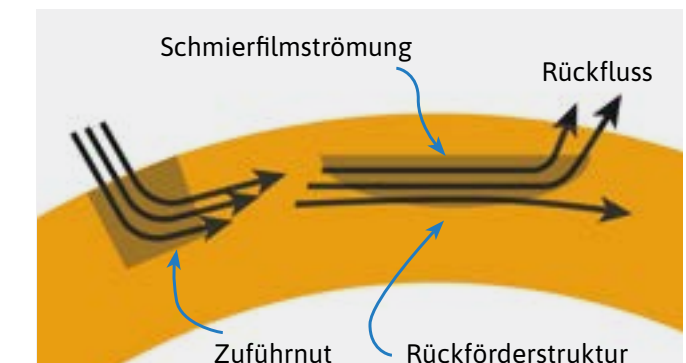
Näpfchenstrukturen als Schmiermitteldepot

## Förderstrukturen zur Optimierung der Dichteigenschaften von Gleitringdichtungen

Die Schmiermitteldepots reduzieren die Reibung durch gezieltes Aufschwimmen der Reibpartner zueinander. Der dadurch größer werdende Dichtspalt hat den Nachteil, dass Leckage stärker auftritt und das System einen erhöhten Schmiermittelbedarf aufweist. Durch spezielle Rückförderstrukturen am Rand der funktionalisierten Flächen wird das Schmiermittel im Gleitbereich gehalten und die Leckage verringert.



Kombination aus Förderstruktur und Näpfchenstruktur in einem Gleitlager



Funktionsschema Förderstruktur



Anlaufscheibe mit funktionalisierter Lauffläche



# Widerstandsfähige Markierungen

## Markierungen für anspruchsvolle Umgebungen

Mit Ultrakurzpulslasern lassen sich korrosionsfeste, hoch kontrastreiche und abriebfeste Markierungen in vielen Metallbauteilen insbesondere aus Edelstahl herstellen. Die Markierung erfolgt hierbei, anders als bei konventionellen Markierlasern, über das Einbringen einer speziellen Mikrostruktur.



Skalpell mit widerstandsfähiger Lasermarkierung



Widerstandsfähige Lasermarkierung in Stahloberfläche

Die eingebrachte Mikrostruktur hat breitbandige Lichtabsorptionseigenschaften, was zu einem hohen Kontrast bei gleichzeitiger Abriebfestigkeit führt, die Markierung wirkt tiefschwarz. Die chemische Beständigkeit der Markierung erfolgt vor allem durch den verwendeten, topografiebedingten Absorptionsmechanismus und bei Edelstählen durch den Erhalt der Schutzwirkung gegen Korrosion mittels einer Chromoxidschicht. Bauteilbeschriftungen, Batch- oder Chargennummern, Marketingbeschriftungen und viele weitere Anwendungsfälle sind denkbar.



Kontrastreiche Beschriftung eines Bauteils



## 2.5 Laserfeinschneiden im Überblick

### 1 Laserfeinschneiden von dünnen Folien

50



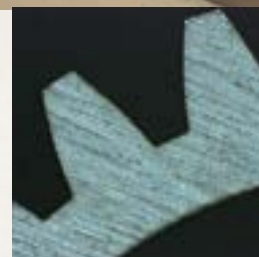
### 2 Laserfeinschneiden von sprödharten Materialien

51

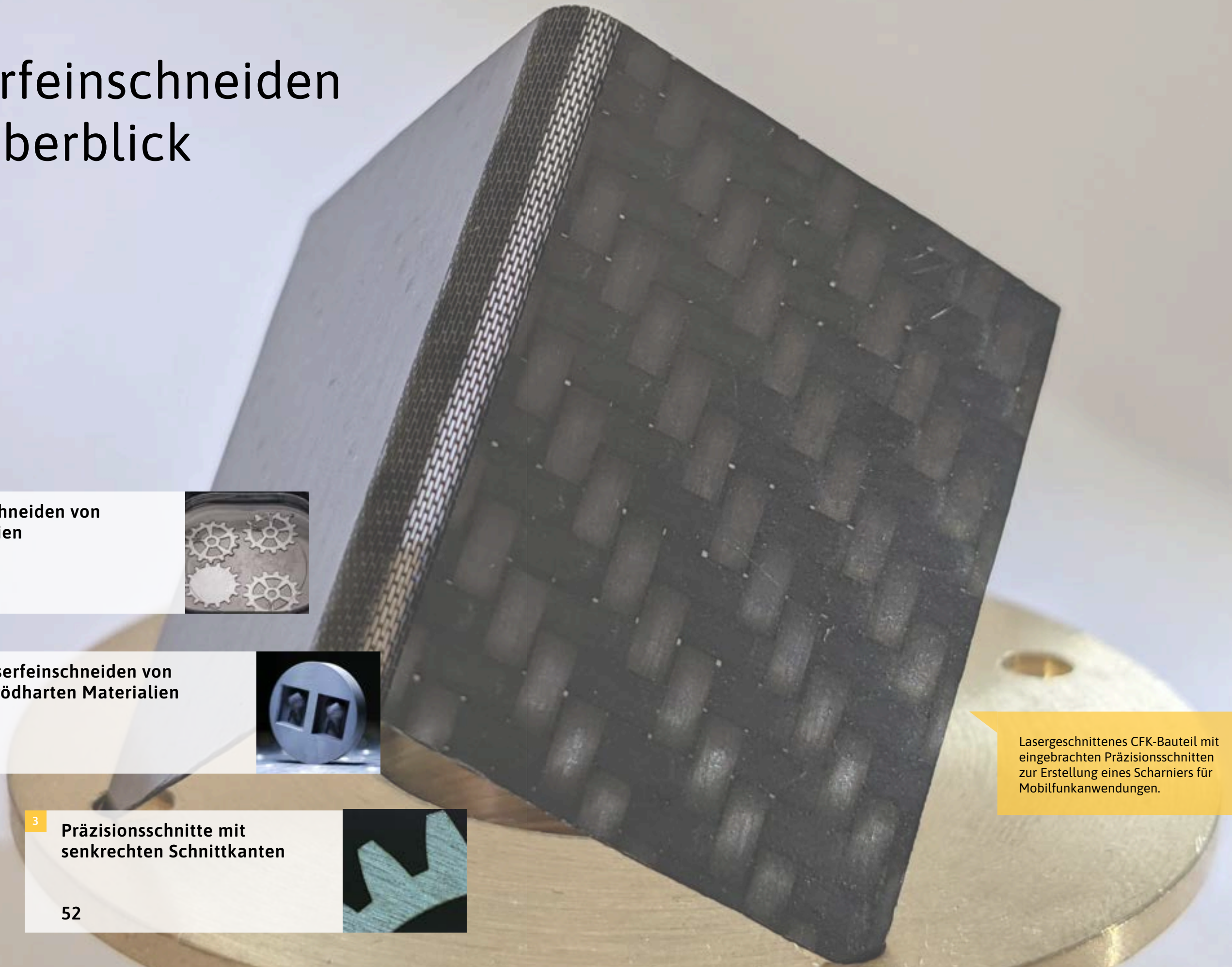


### 3 Präzisionsschnitte mit senkrechten Schnittkanten

52



Lasergeschnittenes CFK-Bauteil mit  
eingebrachten Präzisionsschnitten  
zur Erstellung eines Scharniers für  
Mobilfunkanwendungen.





# Laserfeinschneiden von dünnen Folien

## Hohe Geometriefreiheit durch scannerbasiertes Feinschneiden

Klassisches Laserschneiden ist ein seit vielen Jahren fest etablierter Prozess, der sich durch hohe Schnittgeschwindigkeiten bei maximaler geometrischer Freiheit der Schnittkontur auszeichnet. Eine Vielzahl an Materialien kann auf diese Weise allerdings nicht bearbeitet werden.

Beim Feinschneiden mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung wird der Schnitt durch einen schichtweisen Materialabtrag ohne thermische Beeinflussung von Randbereichen erzeugt. So können Schnitte auch in temperatursensitiven Materialien oder in dünnen Folien erzeugt werden. Dabei können sehr hohe Schnittqualitäten ohne Schmelzränder und geringen Rauheitswerten erreicht werden.



UKP-Laserschneidteile



Ausschnitt eines Mikro-Zahnrades

## Technische Details

- Ablatives Laserfeinschneiden von fast allen Materialien
- Materialstärken: typ. < 500 µm
- Kantenradius: bis < 10 µm
- Aspektverhältnis: typ. bis 1:5
- Wandwinkel: 7-13° zur halben Öffnung



Sternförmige Mikroschnitte in Edelstahl

# Laserfeinschneiden von sprödharten Materialien

## Volle Geometriefreiheit in sprödharten Materialien

Beim klassischen Laserdicing von dünnen keramischen Substraten und Halbleiterwafern werden meist Wafersägen oder laserbasierte Festoptiksysteme eingesetzt. Beide Verfahren erlauben entweder nur ein gerades Schneiden oder ein Schneiden mit vergleichbar großen Kantenradien.

Das scannerbasierte Feinschneiden mit dem UKP-Laser erlaubt einen Schneidprozess mit hoher Präzision, kleinen Kantenradien und ohne Mikrorisse im Werkstück. Auch kleine Bohrungen oder Mikroaperturen können eingebracht werden.



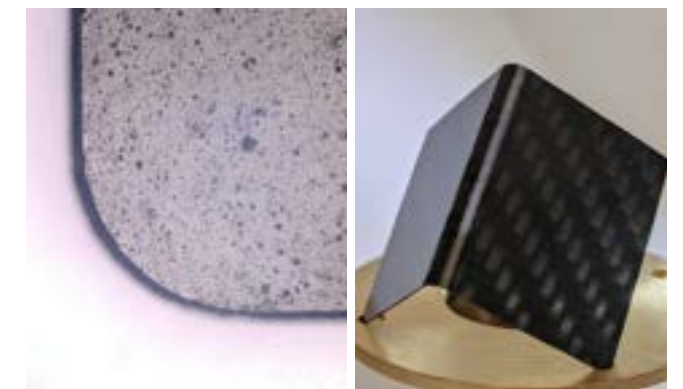
Eckiger Konturschnitt in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mit Kantenradius < 10 µm



Formfreier Zuschnitt einer Keramik

## Technische Details

- Ablatives Laserfeinschneiden von Keramik Halbleitermaterialien, CFK, o.ä. mit hoher Geometriefreiheit
- Materialstärken: typ. < 700 µm
- Kantenradius: bis < 10 µm
- Aspektverhältnis Schnittspaltbreite zu Materialstärke; typ. bis 1:5
- Wandwinkel: typ. < 10°



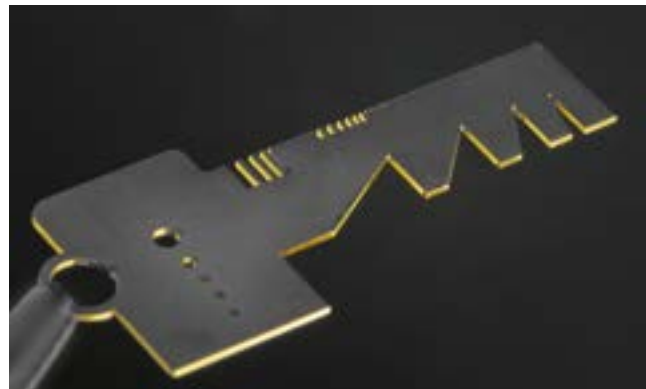
Schnittkante einer CFK-Folie



# Präzisionsschnitte mit senkrechten Schnittkanten

## Gratfreie Präzisionsschnitte höchster Güte

Die Fertigungstechnologie der Wendelbohroptik kann ebenfalls zur Herstellung von Präzisionsschnitten genutzt werden. Durch die relative Bewegung des Bauteils zum Prozesskopf (Festoptik), kann zweidimensional jede Bahngeometrie prozessiert werden. Hiermit können Metalle, Kunststoffe, Gläser und weitere sprödharten Materialien geschnitten werden.



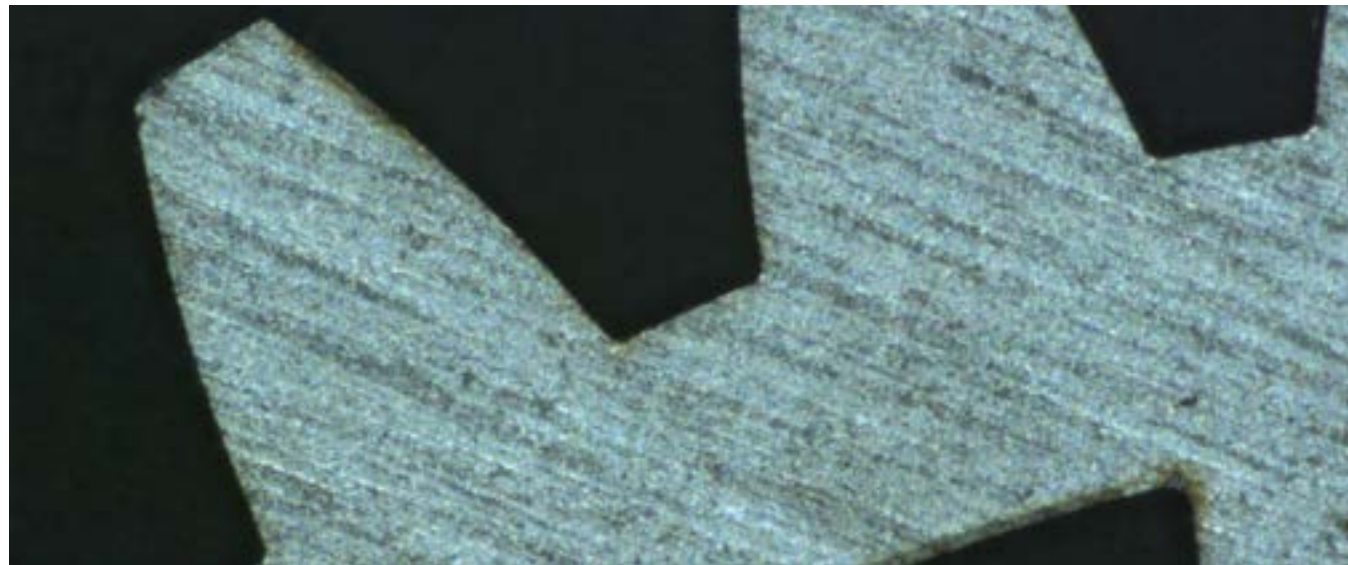
Lasergeschnittenes Mikro Zahnrad aus Edelstahl



Demobauteil mit gratfreien Präzisionsschnitten

## Technische Details

- Trennschnittverfahren mittels Spezialoptik
- Erzeugung von senkrechten Schnittkanten möglich
- Materialstärken: bis  $< 1 \text{ mm}$
- minimale Schnittspaltbreite:  $70 \text{ }\mu\text{m}$



Lasergeschnitten: Detailaufnahme eines Mikro zahnrades