



Fraunhofer  
ILT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

## LASERVERFAHREN FÜR TRIBOLOGISCHE BESCHICHTUNGEN UND KORROSIONSSCHUTZ



DQS zertifiziert nach  
DIN EN ISO 9001:2015  
Reg.-Nr. 069572 QM15

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Institutsleitung  
Prof. Constantin Häfner

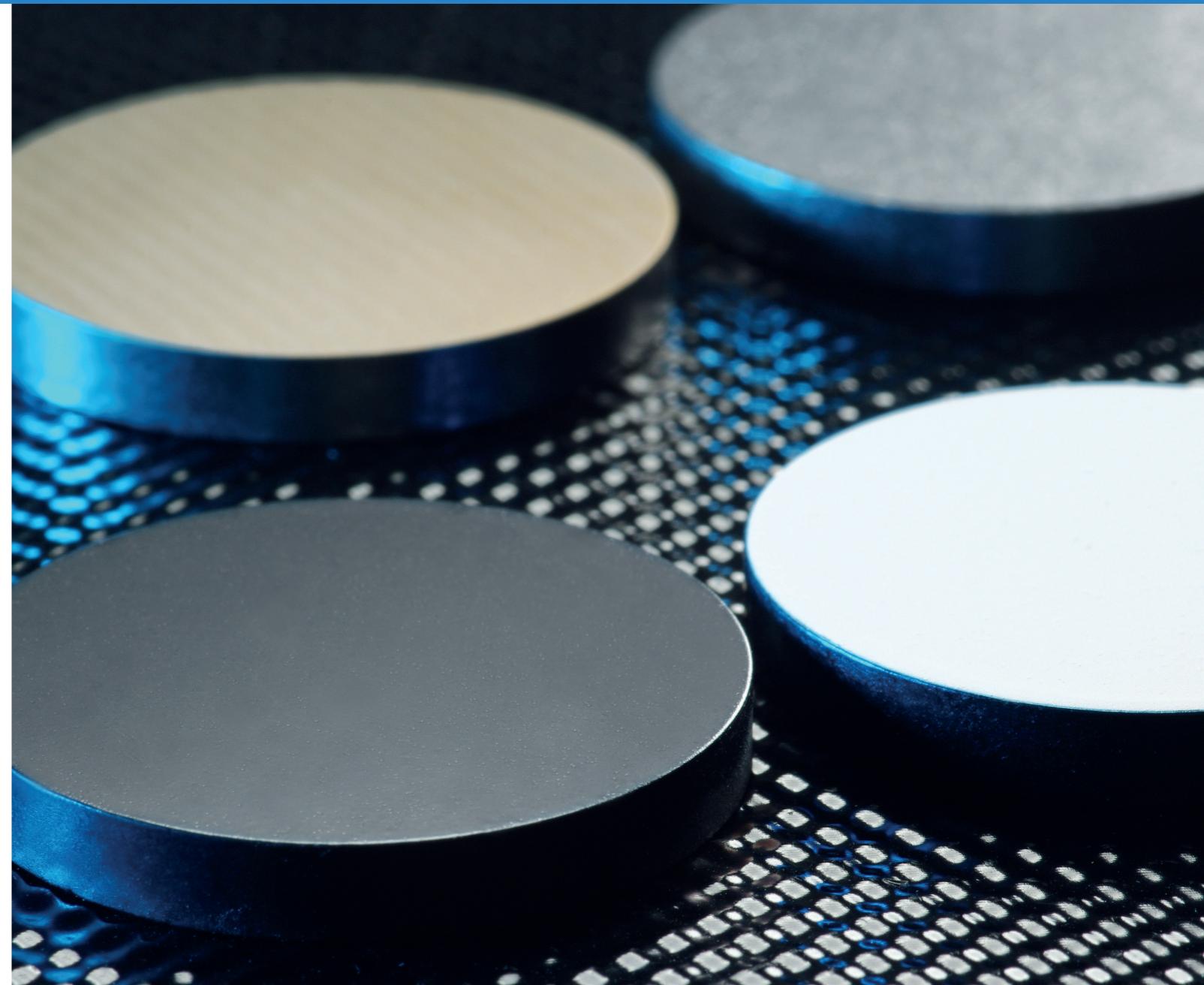
Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Telefon +49 241 8906-0  
Fax +49 241 8906-121

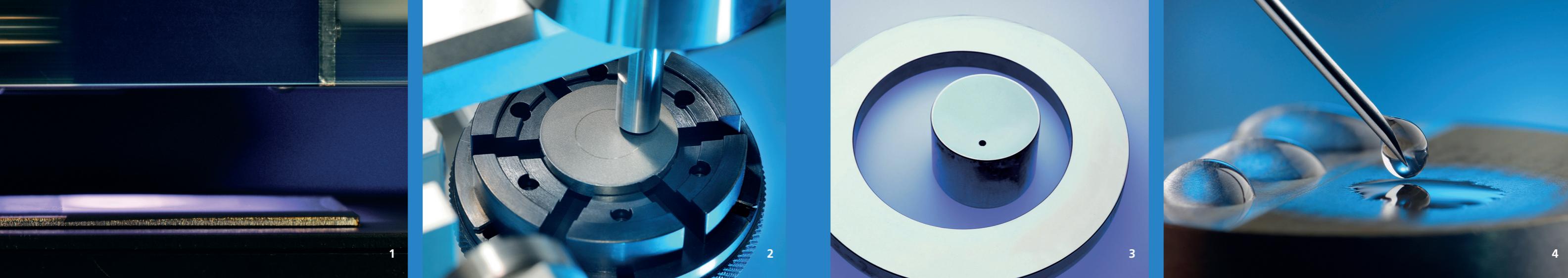
info@ilt.fraunhofer.de  
www.ilt.fraunhofer.de

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungsline. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.





## LASERVERFAHREN FÜR TRIBOLOGISCHE BESCHICHTUNGEN UND KORROSIONSSCHUTZ

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt energieeffiziente, ortsselektive und nachhaltige Laserverfahren zur Herstellung von Beschichtungen, die die Temperaturbeständigkeit von Bauteilen erhöhen, die Reibung reduzieren oder vor Verschleiß und Korrosion schützen. Tribologische Beschichtungen werden vor allem in Anwendungsbereichen eingesetzt, in denen die funktionalen Anforderungen an Komponenten die Leistungsfähigkeit der Grundwerkstoffe übersteigen. Im Zuge des industrieübergreifenden Trends zur Funktionsintegration werden die Anforderungen zunehmend komplexer. Die Lasertechnik bietet hier wirtschaftliche Lösungen für innovative und nachhaltige Beschichtungskonzepte.

### Laserbasierte Herstellung funktionaler Beschichtungen

Die Erzeugung von tribologischen Beschichtungen beinhaltet oftmals einen Verfahrensschritt, mit dem zuvor nasschemisch aufgebrachte Beschichtungswerkstoffe thermisch funktionalisiert werden (z. B. beim Aushärten, Sintern, Schmelzen, Verdichten). Konventionell erfolgt dieser Schritt mittels offenbasierter Verfahren mit dem wesentlichen Nachteil, dass das gesamte Bauteil auf die Funktionalisierungstemperatur der Beschichtung erwärmt werden muss. Daraus resultieren zum einen eine geringe Energieeffizienz und zum anderen eine signifikante Einschränkung des Werkstoffspektrums: Die Verwendung von temperaturempfindlichen Materialien, wie z. B. industrierelevante Wälzgerstähle und Aluminiumlegierungen, ist somit oft nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Eine vielversprechende Alternative stellen laserbasierte Beschichtungsverfahren dar, mit denen die thermische Energie direkt in die Beschichtung und nicht in das gesamte Bauteil eingebracht werden. Die spektrale, zeitliche und örtliche Steuerbarkeit der Laserstrahlung ermöglicht eine applikationsangepasste Modulation der Temperaturprofile im Bauteil.

*Titel: Stahlbauteile mit polymeren Beschichtungen in unterschiedlichen Fertigungsstadien.*

Aufgrund der erreichbaren großen Heiz- und Kühlraten in definierten kleinen Volumina kann der Energieeintrag in das Bauteil reduziert und somit die thermische Belastung minimiert werden.

Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bietet der Lasereinsatz z. B. ökologische und ökonomische Vorteile: das berührungslose und verschleißfreie Werkzeug erzeugt die Beschichtungen energieeffizient und schnell. Das entwickelte Verfahren ist dabei für die durch Industrie 4.0 angestoßenen Entwicklungen (z. B. für eine Maschinenvernetzung und ein durchgängiges Datenmanagement) ausgelegt.

### Polymerbasierte Beschichtungen für tribologische Anwendungen und Korrosionsschutz

Hochleistungspolymer sind als Beschichtungswerkstoff für Anwendungen prädestiniert, in denen neben tribologischen Belastungen zusätzliche Anforderungen an Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit bestehen. Zudem ermöglicht diese Werkstoffklasse eine applikationsspezifische Additivierung, um z. B. das Reibverhalten gezielt zu modifizieren. Bisherige Arbeiten in diesem Bereich umfassen insbesondere auf Polyetheretherketon (PEEK) basierende Beschichtungen von metallischen Grundmaterialien.

Die Polymerschichtdicke liegt typischerweise im Bereich 10 - 50 µm. Bei Stahlsubstraten lässt sich die zur vollständigen Funktionalisierung des Polymers erforderliche Wechselwirkungszeit – im Vergleich zu Ofenprozessen – auf ein Hundertstel senken. Der entsprechende Energiebedarf wird so um 90 Prozent oder mehr reduziert.

Auf Grundlage dieses Verfahrens können mittels iterativer Wiederholung von Schichtapplikation und laserbasierter Funktionalisierung polymerbasierte Mehrfachschichten hergestellt werden (z. B. aus PEEK oder PA12). Solche Schichten weisen Dicken von über 50 µm auf und sind insbesondere für Anwendungen im Korrosionsschutz geeignet.

### Keramische Verschleißschutzschichten

Keramische Verschleißschutzschichten besitzen ein enormes Potenzial und werden u. a. in der Automobilindustrie eingesetzt, um die tribomechanischen Eigenschaften hochbeanspruchter Motoren- und Getriebekomponenten zu optimieren. Nanopartikuläre Werkstoffe z. B. in Form von Sol-Gel-Systemen können mit geringem technologischem Aufwand durch energie- und ressourcenschonende Verfahren als Schutzschichten auf Bauteile aufgebracht werden. Mit Druck- und Sprühverfahren lassen sich stark beanspruchte Bereiche damit selektiv versehen.

Die zentrale Herausforderung des Beschichtungsprozesses besteht in einer vollständigen Sinterung des keramischen Werkstoffes bei Temperaturen oberhalb von 1000 °C ohne funktionsrelevante Beeinflussung der zum Teil temperaturempfindlichen Trägermaterialien. Auf gehärtetem Stahl konnten bisher Beschichtungen mit Schichtdicken von 0,1 - 1 µm und einer Mikrohärte von mehr als 1000 HV hergestellt werden. In Funktionstests weisen laserbasiert hergestellte Schichten eine ebenso gute Verschleißbeständigkeit auf wie konventionelle PVD-Beschichtungen.

### Reibmindernde Lackschichten

Warmaushärtende Lacke (z. B. MoS<sub>2</sub>-basierte Werkstoffe) finden ein weites industrielles Anwendungspotenzial im Bereich der Reibungsreduzierung bei mittleren bis hohen Temperaturen. Die Lacke werden dabei vorwiegend zur Beschichtung von Stahlwerkstoffen eingesetzt, z. B. für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt. Durch die Verwendung von Vertical Cavity Surface Emitting Laserstrahlquellen (VCSEL) kann die Prozessdauer von bis zu 30 Minuten bei Ofenverfahren auf nur wenige Sekunden reduziert werden. Darüber hinaus nimmt der per Kalottenschliff gemessene Verschleißkoeffizient um den Faktor sechs ab.

### Vorbehandlung und Reinigung

Das Fraunhofer ILT verfügt über jahrelange Erfahrung im Bereich der laserbasierten Reinigung sowie der Vorbehandlung und Strukturierung von Bauteiloberflächen. Auf Grundlage dieser Kompetenzen werden Verfahren zur Vorbehandlung von zu beschichtenden Bauteile entwickelt, mit denen etwa das Benetzungsverhalten der nasschemisch deponierten Schichten verbessert werden kann. Zudem wird die Verbundfestigkeit von Beschichtung und Bauteil z. B. durch eine gezielte Oxidation der Oberfläche oder einer Modifikation der Oberflächentopographie in der Regel signifikant vergrößert.

### Ansprechpartner

Dr. Christian Vedder  
Telefon +49 241 8906-378  
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

1 Warmaushärten von Lacken mittels Laserstrahlung.

2 Tribologische Untersuchung eines beschichteten Prüfkörpers.

3 Motor- und Lagerkomponenten mit keramischen Verschleißschutzschichten.

4 Metalloberfläche vor (links) und nach (rechts) der Laservorbehandlung.