



# Gleitringe und Gleitpaarungen

Hergestellt durch Laserhartbeschichtung



**Köthener Sepzialdichtungen GmbH |**  
Dr. Ing. Jürgen Kästner | Dipl.-Ing. Steffi Kästner  
**IRAtec GmbH | Dr. Ing. Jürgen Röthig**

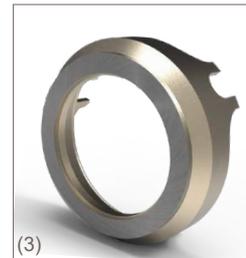


## Die Technologie

Die KSD GmbH fertigt Gleitringe nach dem Prinzip des Laserhartbeschichtens. Dieses innovative photonische Beschichtungsverfahren ermöglicht es, hochwertige Legierungen ressourcenschonend einzusetzen. Es ist uns gelungen, dieses Verfahren so weit zu entwickeln, dass es die Realisierung neuer Werkstoffe direkt im Laserstrahl ermöglicht. Unsere langjährigen Erfahrungen gestatten es uns heute, beigestellte Gleitring- oder Gleitlagerrohlinge innerhalb kürzester Zeit zu beschichten und einer anschließenden qualitätsgerechten Finishbearbeitung zu unterziehen. Lieferzeiten innerhalb von 48 Stunden sind deshalb für unsere Laserhartbeschichtungslegierungen kein Problem. Für Einzelstücke oder kleine Stückzahlen können wir auch die Komplettfertigung übernehmen. Bis zu einem max. Außendurchmesser von 380 mm erfolgt der gesamte Fertigungs- und Prüfprozess im eigenen Haus. Größere Abmessungen, Spezialkonturen und drahterodierte Aussparungen in den Gleitflächen sowie Innenbeschichtungen von Gleitlagern ab 25 mm Bohrungsdurchmesser können in unserem Unternehmen ebenfalls realisiert werden. Neben den von uns hergestellten Hartmetallpaarungen liefern wir auch Mischpaarungen. Dazu zählen Laserhartbeschichtungslegierungen in Kombination mit

- Kohle und Elektrographit,
- Siliziumcarbid (SiSiC und SiC),
- Siliziuminfiltriertem Graphit (C-SiC).

### Anwendungsbeispiele

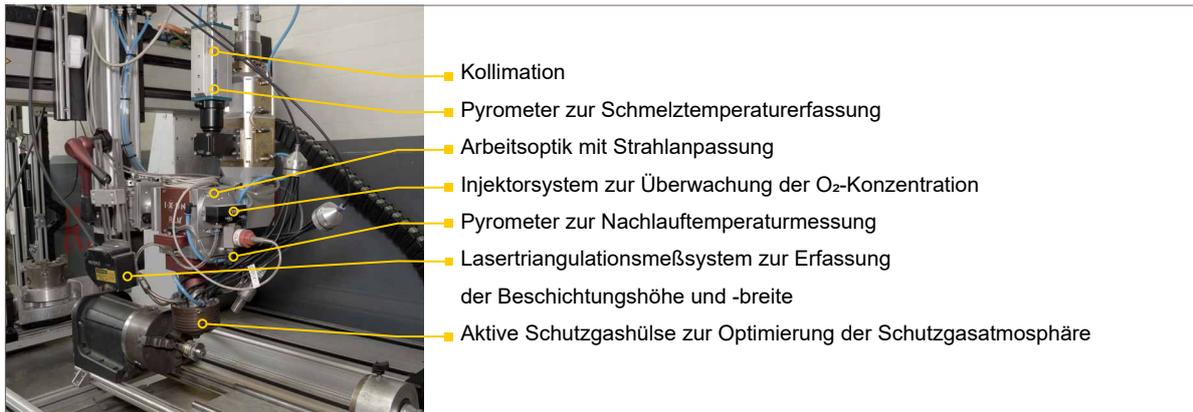


**Fertigungszeiten:**  
 (1) 1h\*, (2) 1h\*, (3) 1 Tag  
 (Komplettfertigung),  
 (4) 1 Woche inkl. Draht-  
 erodieren

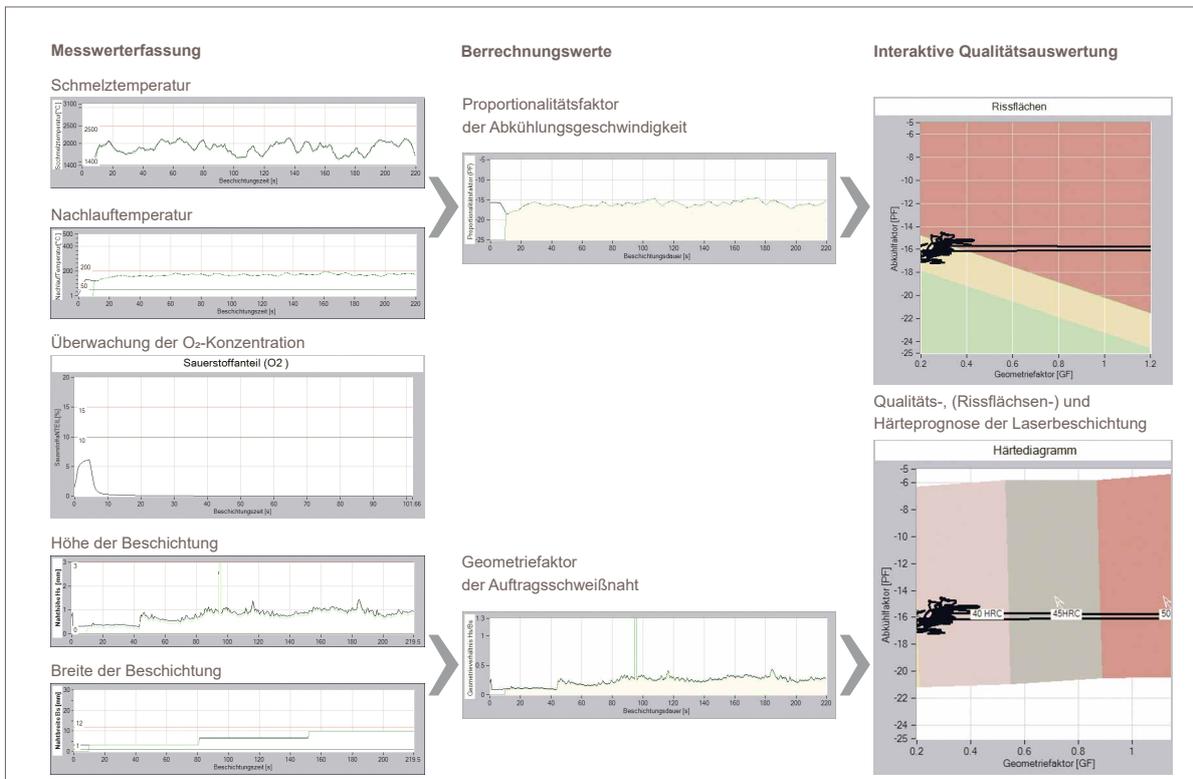
\* bei Rohteil Beistellung

Die in unserem Haus entwickelte R:LM<sup>2</sup>-Technologie ermöglicht es, für Ihre Anwendung die optimale Verschleiß- oder Korrosionsschutzlegierung am Computer zu kreieren und direkt im Laserstrahl zu realisieren. Mit dieser Technologie sind wir auch in der Lage den Laserhartbeschichtungsprozess präzise zu steuern und darüber hinaus eine interaktive Qualitätsüberwachung und Qualitätsprognose zu realisieren. [3]

### Laserarbeitskopf



### Interaktive Qualitätsüberwachung und Prognose



## Übersicht Laserhartbeschichtungslegierungen

Bezeichnung (Härte)	Beschreibung	Eigenschaften	Schliffbild
B40 (40-50 HRC) B60 (50-60 HRC)	Nickel-Chrom-Bor-Silicium-Legierung (Nickelbasis-Superlegierung)	Superlegierung mit ausgezeichneter Medien- / Korrosionsbeständigkeit. (Vergleichbar mit Inconellegierungen) <b>Verschleißbeständigkeit:</b> gut <b>Gleitverhalten:</b> gut	
M40 (40-50 HRC)	Metastabile austenitische Eisenbasislegierung	Metastabile austenitische Eisenbasislegierung (Korrosionsverhalten ähnlich V2A) <b>Verschleißbeständigkeit:</b> gut <b>Gleitverhalten:</b> gut	
W4060 (58-63 HRC)	Wolframcarbid-Nickelbasislegierung	Superlegierung mit Wolframcarbid. <b>Medien- / Korrosionseigenschaften:</b> Ausgezeichnet <b>Verschleißbeständigkeit:</b> sehr gut <b>Gleitverhalten:</b> gut bis sehr gut	
T4040 (58-63 HRC)	Wolframcarbid-Eisenbasislegierung (Einlagerungslegierung <sup>1</sup> )	Metastabile austenitische Eisenbasislegierung mit Wolframcarbid. <b>Medien- / Korrosionseigenschaften:</b> gut <b>Verschleißbeständigkeit:</b> sehr gut <b>Gleitverhalten:</b> sehr gut	
R4040 (55-60 HRC)	Vanadiumcarbid-Eisenbasislegierung (Ausscheidungslegierung <sup>2</sup> )	Metastabile austenitische Eisenbasislegierung mit Vanadiumcarbid. <b>Medien- / Korrosionsbeständigkeit:</b> gut <b>Verschleißbeständigkeit:</b> sehr gut <b>Gleitverhalten:</b> gut	
U406010 (62-67 HRC)	Vanadiumcarbid-Chrombasislegierung (Umwandlungslegierung <sup>3</sup> )	Ferritisch austenitische Chrombasislegierung mit extrem hohen Chrom-, Nickel-, und Vanadiumcarbidanteil. <b>Medien- / Korrosionsbeständigkeit:</b> sehr gut bis ausgezeichnet, durch kleinen Eisenanteil (vergleichbar V4A) <b>Verschleißbeständigkeit:</b> 1 sehr gut bis ausgezeichnet (vergleichbar SiC) <b>Gleitverhalten:</b> sehr gut	
A505010 (55-62 HRC)	Titancarbid mit intermetallischer Matrix (Umwandlungslegierung <sup>3</sup> )	Eisenfreie Titancarbidlegierung mit einer intermetallischen Matrix aus Silizium und Aluminium bzw. Titan. Speziell entwickelt für Grundwerkstoffe aus Aluminium- oder Titanlegierungen.	
Stellit 6M (43-45HRC)	Kobaltbasislegierung modifiziert	Mit Edelstahl modifizierte Kobaltbasislegierung. Speziell entwickelt für Gleitlager in Magnetpumpen.	

<sup>1</sup> Bei Einlagerungslegierungen wird Wolframcarbid thermisch aufgespalten und Wolfram kann sich in die Legierungsmatrix einlagern, wodurch diese deutlich aufgehärtet wird.

<sup>2</sup> Bei Ausscheidungslegierungen werden Vanadium- oder Titancarbide thermisch aufgespalten, die sich dann wieder ausscheiden, jedoch mit deutlich kleinerer Korngröße und kleinerem Korngrößenspektrum.

<sup>3</sup> Umwandlungslegierungen sind In-situ-Legierungen, die sich direkt im Laserstrahl neu ausbilden.

Als Grundwerkstoffe können alle schweißbaren Werkstoffe, bevorzugt Edelstähle aus 1.4301 (1.4308), 1.4571 sowie Titan- und Aluminiumlegierungen verwendet werden. Ungeeignet ist der Werkstoff 1.4305.

Die Übersicht der von uns verwendeten Laserhartbeschichtungslegierungen kann auch als eine Zusammenfassung der Entwicklung auf diesem Gebiet angesehen werden. Neben den Klassikern mit arteigenen Hartphasen, wie die Nickelbasislegierungen B40, B60 und die Kobaltbasislegierung Stellite 6M sind auch neuere Legierungssysteme mit zusätzlich eingelagerten artfremden Hartphasen aufgeführt. Dazu zählen das Nickelbasislegierungssystem W4060 und die Eisenbasislegierungen T4040 und R4040.

Alle Eisenbasislegierungen aus unserem Haus basieren auf der korrosionsbeständigen, metastabilen austenitischen Legierung M40, die für die arteigene Hartphasenbildung nicht Kohlenstoff, sondern Bor nutzt. Dadurch verfügt sie über eine wesentlich bessere Medien- und Korrosionsbeständigkeit gegenüber den vergleichbaren Eisenbasislegierungen unserer Wettbewerber. Die Arbeiten an dieser innovativen Eisenbasislegierung mit arteigener Hartphasenbildung begannen bereits Mitte der 80iger Jahre, um Kobaltbasislegierungen zu ersetzen. [2]

Für einen völlig neuen Legierungsansatz stehen die Legierungssysteme U406010 und A505010. Diese als Umwandlungslegierungen bezeichneten Systeme entstehen erst im Laserstrahlfokus. Dabei werden diese „In-situ-Legierungen“, durch das thermische Aufspalten von Hartstoffen, die als Kohlenstofflieferant für die Neubildung thermodynamisch stabilerer Hartphasen dienen, erzeugt. Deshalb ist die Entwicklung dieser Legierungsart auch im engen Zusammenhang mit der Einführung hochenergetischer Schweißverfahren, wie z. B. dem Laserschweißen, zu sehen.

Das Legierungssystem U406010 steht auch stellvertretend für eine computergestützte Werkstoffberechnung. Auch wenn die verwendeten theoretischen Grundlagen auf den mehr als 150 Jahre alten Gibb'schen Gesetzen basieren, so sind leistungsfähige Werkstoffsimulationsprogramme und die erforderlichen Werkstoffdatenbanken doch erst seit einigen Jahren für die Industrie verfügbar.

Mit der Legierung U406010 werden erstmalig kosten- und ressourcenschonende Ferrovorlegierungen für das Laserauftragsschweißen genutzt. [4]

Speziell für die Werkstoffsimulation mit Ferrovorlegierungen wurde LASERSAGE<sup>1</sup> entwickelt. Es nutzt einen weiterführenden Ansatz, um die schnelle Abkühlung, wie sie dem Laserauftragsschweißprozess eigen ist, zu berücksichtigen.

Die auf diesem Weg erzeugten Legierungen zeichnen sich durch extreme Härte und Verschleißfestigkeit aus. Trotz ihrer extrem hohen Härte können diese Umwandlungslegierungen riss- und porenfrei verschweißt werden. Ihre hohe Medien- und Korrosionsbeständigkeit ist ein weiterer Vorteil. So zeichnet sich z. B. die Legierung U406010 durch einen sehr niedrigen Eisenanteil und einen sehr hohen Chromgehalt aus. Es ist deshalb gerechtfertigt, die U406010 als eine Chrombasislegierung zu bezeichnen.

Unsere verschiedenen Legierungsrezepturen werden unter Verwendung eines Mischcomputers hergestellt. Dieser Mischcomputer arbeitet mit moderner Transpondertechnologie, die mögliche Fehler beim Anmischen der Legierungen vermeidet. Weiterhin übernimmt der Mischcomputer eine automatische Chargennummerierung, die eine 100%ige Verfolgbarkeit unserer Produkte gewährleistet. Die auf diesem Weg hergestellten Pulvermischungen werden dann auf modernen Laseranlagen und unter optimaler Schutzgasatmosphäre in den Laserstrahl gedüst.



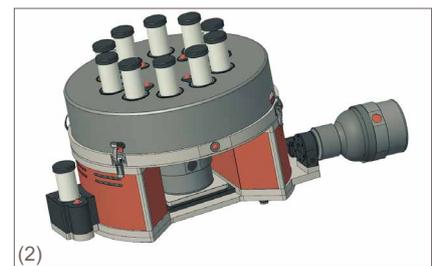
(1a)



(1b)



(1c)



(2)

**(1) Lasersageoberflächen**

(1a) Auswahl der gewünschten Legierungspartner

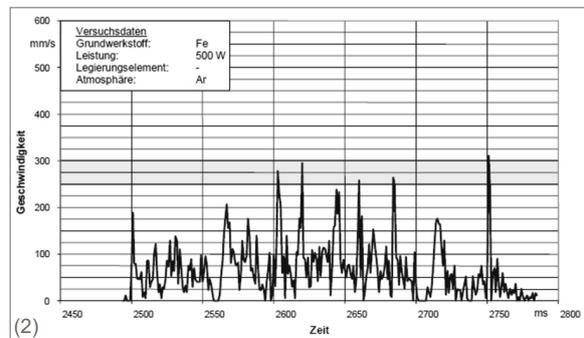
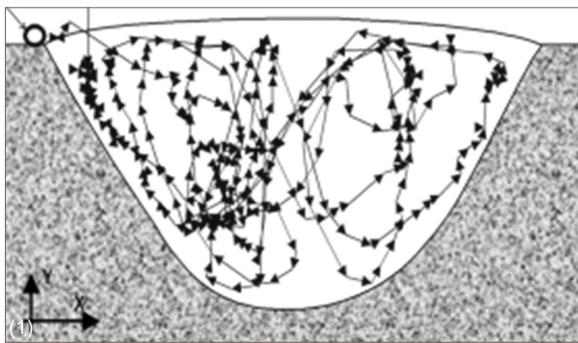
(1b) Auswahl der gewünschten Eigenschaften

(1c) Mögliche Zusammensetzungen der Legierungen

(4) Pulvermischcomputer

<sup>1</sup> LASERSAGE wurde im Rahmen des geförderten AIF Projektes „Werkstoffe nach Maß“, durch die beteiligten Partner KSD GmbH, IRAtec GmbH, GTT GmbH und der Hochschule Osnabrück – Bereich Werkstoffinstitut, entwickelt.

Unter Schmelztemperaturen von 1500–2500°C werden die Pulvermischungen auf den Gleitringrohling aufgeschmolzen. Trotz der hohen Schmelztemperatur erwärmt sich der Rohling kaum über 100 °C. Der eigentliche Laserhartbeschichtungsvorgang dauert je nach Gleitringgröße, einer Gleitflächenbreite bis **5 mm** und einer Beschichtungsstärke von mindestens **1,2 mm** zwischen **3 und 6 min**. Bei extremen Abmessungen kann der Vorgang auch bis zu 20 min in Anspruch nehmen. Während des Laserprozesses nutzen wir die Marangoni-Strömung innerhalb der Schmelze, die in [1] erstmalig während eines Laserauftragsschweißprozesses sichtbar gemacht werden konnte, um die Legierungsbestandteile optimal zu verteilen.



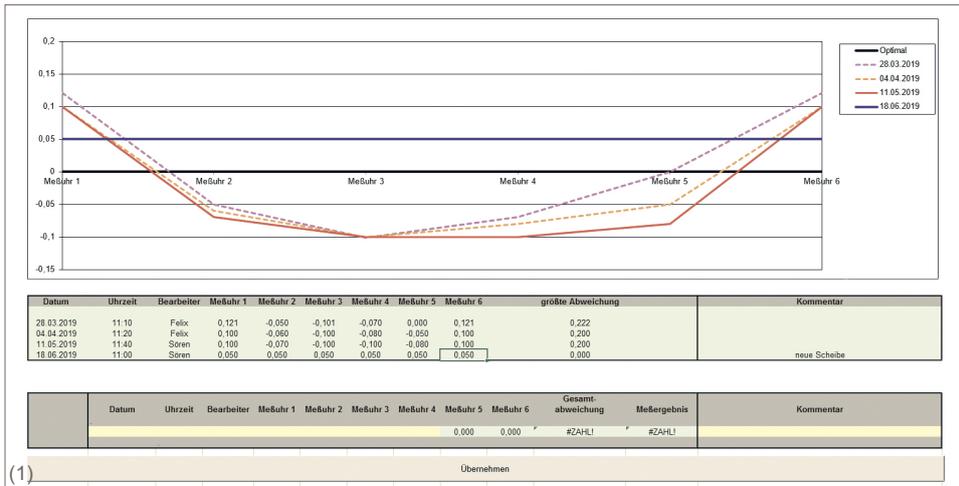
(1) **Bewegungsvektoren im Schmelzbad** [1]

Laserleistung: 500 W; Schutzgas: Ar, Markierungspartikel: WC

(2) **Geschwindigkeit der WC Partikel** [1]

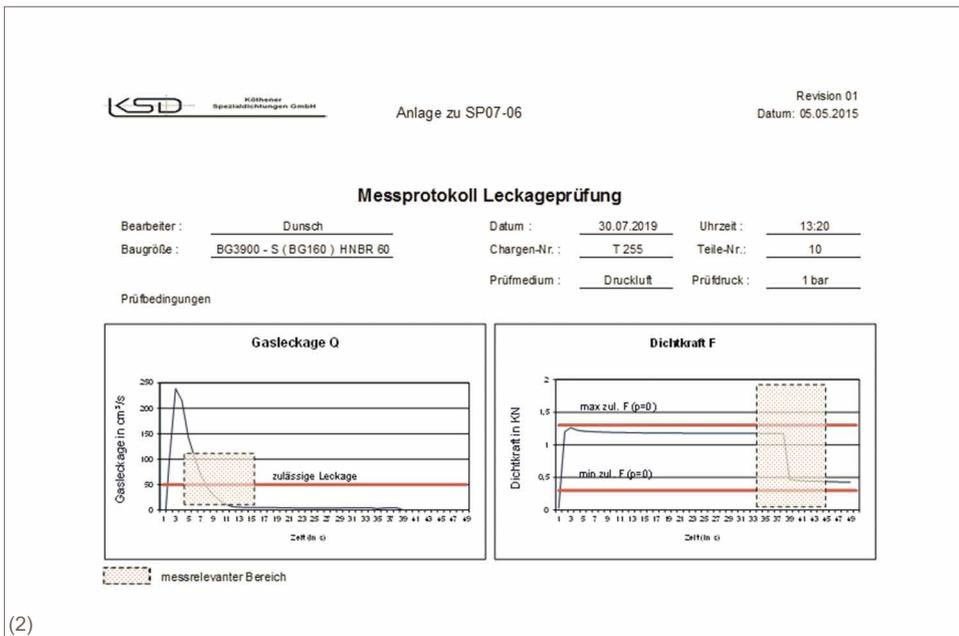
Die mittlere Geschwindigkeit liegt bei ca. 170 mm/s

Nach dem Beschichtungsvorgang wird jeder Gleitring trowalisiert, um Anlauffarben und mögliche Schweißspritzer, die sich lösen könnten, zu entfernen. Danach erfolgt die Schleif- und Läppbearbeitung der Gleitringe nach streng festgelegten Arbeitsprogrammen. Um den hohen Anforderungen nach Ebenheit, Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit für unsere Gleitringe jederzeit gerecht zu werden, bedarf es einer ständigen Kontrolle der Anlagentechnik. So wurde beispielsweise ein Analyseprogramm entwickelt, mit dem die Ebenheit der Planscheibe einer Läppmaschine abgebildet werden kann, um so die optimale Position der Abrichtringe festzulegen.



(1) Analyseprogramm zur Abbildung der Ebeneheit der Planscheibe

Falls von unseren Kunden nicht anderweitig gefordert, wird eine 100%ige Sichtprüfung und eine 10%ige Funktionsprüfung der Gleitringpaare durchgeführt.



(2) Prüfprotokoll der Funktionsprüfung

Die Härteprüfung der Gleitringe erfolgt bei jedem Werkstoffchargenwechsel und bei jedem Gleitringgrößenwechsel. Bei Gleitringen, die auf Grund ihrer Abmessungen keiner Funktionsprüfung unterzogen werden können, wird eine 100 % Ebeneheitsprüfung der Gleitfläche und eine Planparallelitätsprüfung zwischen Gleitfläche und Rückenfläche durchgeführt. In der Summe der genannten Maßnahmen sichern wir eine gleichbleibende hohe Qualität unserer Erzeugnisse ab.

## Laserhartbeschichtungspaarungen und intermetallische Paarungen

Paarungstyp	Eigenschaften und bevorzugte Anwendungsbereiche
<b>W4060 / W4060</b>	<p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> ausgezeichnet (CIP resistent)  <b>Verschleißbeständigkeit:</b> sehr gut  <b>Gleitverhalten:</b> sehr gut  <b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Lebensmittel- und chemische Industrie</p>
<b>B60 / W4060</b>	<p>Wie Paarung W4060 / W4060, aber mit Härteunterschied von ca. 10 HRC zwischen rotierenden und stationären Gleitring, um das Mutter-Vater-Prinzip umzusetzen. (Das Mutter-Vater-Prinzip ist ein bewährter tribologischer Ansatz, bei dem sich der weichere Gleitring, auch bei Schädigung, immer wieder am Härteren anpassen kann)</p>
<b>T4040 / T4040</b>	<p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> gut bis sehr gut.  <b>Verschleißbeständigkeit:</b> sehr gut  <b>Gleitverhalten:</b> sehr gut  <b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Lebensmittel- und Zuckerindustrie, sowie in der Klär- und Abwassertechnik.</p>
<b>M40 / T4040</b>	<p>Wie Paarung T4040 / T4040, aber mit Härteunterschied von ca. 10 HRC zwischen rotierenden und stationären Gleitring, um das Mutter-Vater-Prinzip umzusetzen. (Mutter-Vater-Prinzip s. a. Paarung B60 / W4060)</p>
<b>R4040 / R4040</b>	<p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> gut  <b>Verschleißbeständigkeit:</b> gut  <b>Gleitverhalten:</b> gut bis sehr gut  <b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Landtechnik, Bauindustrie, Entsorgungstechnik</p>
<b>M40 / R4040</b>	<p>Wie Paarung R4040/R4040, aber mit Härteunterschied von ca. 10 HRC zwischen rotierenden und stationären Gleitring, um das Mutter-Vater-Prinzip umzusetzen. (Mutter-Vater-Prinzip, s. a. Paarung B60 / W4060)</p>
<b>U406010 / U406010</b>	<p>Umwandlungslegierung, die direkt im Laserstrahl gebildet wird  <b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> sehr gut bis ausgezeichnet  <b>Verschleißbeständigkeit:</b> ausgezeichnet  <b>Gleitverhalten:</b> sehr gut  <b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Lebensmittel- und chemische Industrie und im Zusammenhang mit extrem stark abrasiven Produkten.</p>
<b>A505010 / A505010</b>	<p>Eisenfreie Umwandlungslegierung, die als intermetallische Legierung direkt im Laserstrahl gebildet wird.  <b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> ausgezeichnet in Kombination mit Titgrundwerkstoffen  <b>Verschleißbeständigkeit:</b> gut bis sehr gut  <b>Gleitverhalten:</b> gut  <b>Bevorzugte Anwendungen:</b> chemische Industrie</p>

**Raue Betriebsbedingungen sind für Laserhartbeschichtungspaarungen die bevorzugten Einsatzgebiete.**

**Laserhartbeschichtungspaarungen sind unempfindlich gegen:**

- Thermoschock,
- Schwingungen und Vibrationen,
- Stöße und Schläge,
- Fremdkörper im Produkt (z. B. Metallteile, wie Schrauben oder Muttern)

Darüber hinaus werden Laserhartbeschichtungspaarungen heute bevorzugt wieder in der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie eingesetzt, da im Schadensfall Bruchstücke von Keramik- oder Kohleleitringen nicht detektierbar sind.

**Der Einsatz reiner Laserhartbeschichtungspaarungen bzw. reiner intermetallischer Paarungen sollten vermieden werden, wenn:**

- Trockenlaufgefahr besteht und in der GRD keine geeigneten Schmierdepoträume zur Verfügung stehen.
- Medien gefördert werden, die leicht zum Verdampfen neigen und dadurch Kavitation zwischen den Gleitringen erzeugen. (z. B. Heißwasserpumpen)

### **Laserbasierte Mischpaarungen mit Kohle oder Elektrografit**

<b>Paarungstyp</b>	<b>Eigenschaften und bevorzugte Anwendungsbereiche</b>
<b>M40 / Kohle (kunstharzgebunden)</b>	<p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> gut bis befriedigend</p> <p><b>Verschleißbeständigkeit:</b> sie ist durch die Kunstharzimpregnierung nur kurzzeitig trockenlaufeignet und die maximale Temperatureinsatzgrenze sollte 100°C bis 120°C nicht überschreiten.</p> <p><b>Gleitverhalten:</b> ausgezeichnet</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> für Heißwasserpumpen oder als Sekundärdichtung in doppelt wirkenden GRD.</p>
<b>B40 / Kohle (antimongebunden)</b>	<p>Wie Paarung M40 / Kohle (antimongebunden), jedoch mit ausgezeichneter Medien- und Korrosionsbeständigkeit.</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Pumpen für Wärmeträgeröle, Selbstansaugende Pumpen mit zeitlich begrenzten Trockenlauf und vor allem Pumpen und Aggregate mit hoher Drehzahl.</p>
<b>B60 / Elektrografit</b>	<p>Diese Mischpaarung ist eine Premiumpaarung</p> <p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> ausgezeichnet</p> <p><b>Verschleißbeständigkeit:</b> die Temperatureinsatzgrenze liegt über 400 °C und die hohe Wärmeleitfähigkeit des Elektrografits von ca. 85 W/m*K machen diese Mischpaarung trockenlaufsicher.</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> diese Mischpaarung ist als ATEX – Paarung einsetzbar.</p>

Laserbasierte Mischpaarungen mit Kohle oder Elektrographit sind das klassische Beispiel eines bewährten tribologischen Ansatzes, bei dem der Kohle- oder Elektrographitgleitring sich dem härteren metallischen Gleitring anpasst. Der Verschleiß wird bewusst auf den weicheren Gleitring gelegt, so dass dieser sich auch bei örtlicher Schädigung wieder an dem Gegenlaufpartner ausrichten und einschleifen kann („Mutter-Vater-Prinzip“). Obwohl Kohlegleitringe, von der rein messbaren Härte ausgehend, als weich einzustufen sind, erfordern sie vom Gegenlaufpartner eine Mindestverschleißfestigkeit, die durch unbehandelte metallische Werkstoffe nicht erreicht wird.

**Die Gründe für dieses Phänomen lassen sich wie folgt erklären:**

- Kohle besitzt eine schuppenartige Struktur, die für die ausgezeichneten Gleiteigenschaften verantwortlich ist. An den Randzonen dieser Schuppen können sich jedoch diamant-ähnliche Strukturen ausbilden, die den Verschleiß am Gegenlaufpartner verantworten.
- Die geringe Härte der Kohle kann dazu führen, dass sich Fremdpartikel in der Oberfläche einlagern und dadurch zum Verschleiß am Gegenlaufpartner beitragen.

Laserbasierte Mischpaarungen aus Kohle oder Elektrographit werden bevorzugt in Anwendungen eingesetzt, die durch Trockenlauf und Kavitation gefährdet sind. Durch die hervorragenden Gleiteigenschaften der Kohle bzw. des Elektrographits entstehen nur geringe Reibleistungen in der Paarung und somit nur eine geringe Wärmeentwicklung. Durch die Verwendung von Elektrographit mit seiner hohen Wärmeleitfähigkeit wird dieser Effekt noch zusätzlich unterstützt.

**Der Einsatz laserbasierter Mischpaarungen aus Kohle oder Elektrographit sollte vermieden werden, wenn:**

- Das Förderprodukt hoch abrasiv ist.
- Das Aggregat ausschließlich im Mischreibungsbereich betrieben wird und das Förderprodukt Feststoffe enthält.

Der Mischreibungsbereich lässt sich über die Sommerfeldzahl **So** abbilden. Er liegt vor, wenn die Viskosität des Produktes hoch ist, aber die Drehzahl niedrig ist. Das trifft auf Verdrängerpumpen, wie z. B. Drehkolben-; Exzentrerschnecken- und Zahnradpumpen zu.

## Laserbasierte Mischpaarungen mit Siliziumcarbid (SiSiC oder SiC)

Paarungstyp	Eigenschaften und bevorzugte Anwendungsbereiche
<b>R4040 / SiSiC</b>	<p>Kostengünstige Mischpaarung zwischen einer Eisenbasislegierung mit Vanadiumcarbid und einem reaktionsgebundenen, infiltrierten Siliziumcarbid. Standardmischpaarung mit einem sehr breiten Einsatzspektrum.</p> <p><b>Medien- und Korrosionseigenschaften:</b> gut</p> <p><b>Verschleißeigenschaften:</b> gut bis sehr gut, die Mischpaarung basiert auf einen Härteunterschied von ca. 8-10 HRC gegenüber dem SiSiC-Gleitring.</p> <p><b>Gleitverhalten:</b> gut bis sehr gut</p>
<b>W4060 / SiSiC</b>	<p>Mischpaarung zwischen einer Nickelbasislegierung mit Wolframcarbid und einem reaktionsgebundenen, infiltrierten Siliziumcarbid.</p> <p><b>Medien- und Korrosionseigenschaften:</b> sehr gut</p> <p><b>Verschleißeigenschaften:</b> sehr gut</p> <p><b>Gleitverhalten:</b> sehr gut bis ausgezeichnet, auch bedingt durch die hohe Korngröße der Wolframcarbide, bevorzugte Anwendungen chemische und Lebensmittelindustrie (CIP-resistent)</p>
<b>W4060 / SiC</b>	<p>Premiummischpaarung zwischen einer Nickelbasislegierung mit Wolframcarbid und einem gesinterten Siliziumcarbid.</p> <p><b>Medien- und Korrosionseigenschaften:</b> ausgezeichnet</p> <p><b>Verschleiß- und Gleitverhalten:</b> vergleichbar W4060 / SiSiC</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> chemische und Lebensmittelindustrie (CIP-resistent)</p>
<b>U406010 / SiSiC</b>	<p>Premiummischpaarung zwischen einer Umwandlungslegierung mit Vanadiumcarbid und einem reaktionsgebundenen, infiltrierten Siliziumcarbid mit sehr guter <b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit</b>.</p> <p><b>Verschleiß- und Gleitverhalten:</b> ausgezeichnet, durch die extrem hohe Härte beider Werkstoffe und der hohen Wärmeleitfähigkeit des SiSiC.</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> stark abrasive Medien, die unter Bedingungen der Mischreibung abgedichtet werden müssen.</p>
<b>A505010 / SiC</b>	<p>Diese absolut eisenfreie Mischpaarung garantiert im Zusammenhang mit Titgrundwerkstoffen höchste <b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit</b>. Der hohe Anteil von Titancarbiden in der Leichtmetalllegierung und die hohe Härte des keramischen Paarungswerkstoffes sichert ein sehr gutes bis ausgezeichnetes <b>Verschleiß- und Gleitverhalten</b>.</p>

Laserbasierte Mischpaarungen mit reaktionsgebundenen, infiltrierten Siliziumcarbid (SiSiC) oder gesinterten Siliziumcarbid (SiC) sind auf Grund der guten Wärmeleitfähigkeit des Siliziumcarbids von 80–130 W/m\*K besonders für den Einsatz in wässrig abrasiven Medien geeignet. Durch die ausgezeichnete Wärmeableitung können Kavitationsprobleme vermieden werden. Die hohe Härte beider Paarungspartner sichert die ausgezeichneten Verschleiß- und Gleiteigenschaften ohne das bewährte tribologische Grundprinzip, möglichst Paarungen mit unterschiedlichen Werkstoffen zu verwenden, aufzugeben.

### Der Einsatz laserbasierter Mischpaarungen aus Siliziumcarbid sollte vermieden werden, wenn:

- Akute Trockenlaufgefahr besteht und in der GRD keine geeigneten Schmierdepoträume zur Verfügung stehen.
- Wenn Thermoschockgefahr besteht.
- Bei extremen Schwingungen und Vibrationen.
- Bei extremer Stoß- und Schlagbeanspruchung.

Können Fremdkörper im Produkt auftreten (z. B. Metallteile wie Schrauben oder Muttern) so sollte der keramische Paarungspartner als stationärer Gleitring ausgelegt werden.

## Laserbasierte Mischpaarungen mit siliziuminfiltriertem Grafit (C-SiC)

Paarungstyp	Eigenschaften und bevorzugte Anwendungsbereiche
<b>W4060 / CSiC</b>	<p>Premium-Mischpaarung zwischen einer Nickelbasislegierung mit Wolframcarbid und dem siliziuminfiltrierten Grafit C-SiC.</p> <p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> sehr gut bis ausgezeichnet</p> <p><b>Verschleißigenschaften:</b> gut bis sehr gut</p> <p><b>Gleitverhalten:</b> hervorragend durch ausgezeichnete Notlaufeygnung</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> Die Einsatzgebiete dieser Premiumpaarung sind sehr vielfältig, insbesondere findet sie Anwendung bei ATEX-Anforderungen, selbstansaugenden Pumpen mit Trockenlaufgefahr und in Aggregaten mit Mangelschmierung.</p>
<b>U406010 / CSiC</b>	<p>Premium-Mischpaarung zwischen einer Umwandlungslegierung mit Vanadiumcarbid und dem siliziuminfiltrierten Grafit C-SiC.</p> <p><b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit:</b> gut bis sehr gut</p> <p><b>Verschleißigenschaften:</b> sehr gut bis ausgezeichnet</p> <p><b>Gleitverhalten:</b> hervorragend durch ausgezeichnete Notlaufeygnung</p> <p><b>Bevorzugte Anwendungen:</b> ihr bevorzugtes Einsatzgebiet sind stark abrasive Medien die unter Bedingungen der Mischreibung bei gleichzeitig auftretender Trockenlaufgefahr abgedichtet werden müssen.</p>
<b>A505010 / CSiC</b>	<p>Diese absolut eisenfreie Mischpaarung garantiert im Zusammenhang mit dem Grundwerkstoff Titan höchste <b>Medien- und Korrosionsbeständigkeit</b>. Der hohe Anteil von Titancarbiden in der Leichtmetalllegierung und die hohe Härte des graphit-keramischen Paarungswerkstoffes sichern auch bei auftretender Mangelschmierung ein ausgezeichnetes <b>Verschleiß- und Gleitverhalten</b>.</p>

Laserbasierte Mischpaarungen mit siliziuminfiltriertem Grafit (CSiC) zeichnen sich durch ausgezeichnete Notlauf-eigenschaften bei gleichzeitig hoher Verschleißfestigkeit aus. Durch die Kombination aus Notlaufeigenschaft und ausgezeichneter Wärmeableitung werden Kavitationsprobleme vermieden. Die hohe Härte beider Paarungspartner sichert die ausgezeichneten Verschleiß- und Gleiteigenschaften ohne das tribologische Grundprinzip, möglichst Paarungen mit unterschiedlichen Werkstoffen zu verwenden, aufzugeben.

Trockenlauftest mit der Gleitpaarung W4060 / C-SiC ergaben, dass bis zu einer Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/s die Temperaturentwicklung nicht über 85 °C anstieg. Damit sind diese Mischpaarungen auch für ATEX-Anwendungen besonders zu empfehlen. Anwendungseinschränkungen für diese laserbasierten Mischpaarungen sind bisher nicht bekannt.

Bei extremer Stoß- und Schlagbeanspruchung sowie bei Auftreten von Fremdkörpern im Produkt (z. B. Metallteile wie Schrauben oder Muttern) sollte der graphit-keramische Paarungspartner als stationärer Gleitring ausgelegt werden.

Um die ausgezeichneten Wärmeleiteigenschaften des C-SiC zu unterstützen, empfehlen wir den stationären Gehäusegleitring C-SiC als Blockring auszuführen. (s. Beispielanwendung ATEX)

#### Anwendungsbeispiel ATEX Anwendung:



- (1) Wärmeisolierten Einbau durch fehlende Kontaktflächen bei DIN-Gegenringen vermeiden  
 (2) Wärmeleitenden Einbau durch Blockringe mit großen Kontaktflächen vorsehen

## Laserbasierte Mischpaarungen für Gleitlager

Paarungstyp	Eigenschaften und bevorzugte Anwendungsbereiche
<b>Stellit 6M / SiSiC</b>	Diese Mischpaarung zwischen einer Kobaltbasislegierung und einem reaktionsgebundenen, infiltrierten Siliziumcarbid SiSiC verfügt über eine ausgezeichnete Medien- und Korrosionsbeständigkeit sowie über hervorragende Gleiteigenschaften. Ihr bevorzugtes Einsatzgebiet sind produktberührende Gleitlager in magnetgekoppelten Pumpen.
<b>Stellit 6M / C-SiC</b>	Diese Mischpaarung zwischen einer Kobaltbasislegierung und einem silizium-infiltriertem Grafit C-SiC verfügt über eine ausgezeichnete Medien- und Korrosionsbeständigkeit sowie über hervorragende Gleiteigenschaften. Ihr bevorzugtes Einsatzgebiet sind produktberührende Gleitlager in selbst-ansaugenden, magnetgekoppelten Pumpen mit Trockenlaufgefahr.

Auch bei hochbelasteten Gleitlagern, wie sie beispielsweise in Produktraum von Magnetpumpen zur Anwendung kommen, konnten die laserbasierten Mischpaarungen überzeugen. Durch die Anwendung einer solchen Mischpaarung erhöhte sich die Standzeit einer magnetgekoppelten Allweiler-Pumpe von 30 bis 40 Produktionstage auf über 36 Monate. Über den Austausch der bruchgefährdeten SiSiC-Vollkeramikpaarung durch die laserbasierte Mischpaarung Stellit 6M / SiSiC und deren strömungsoptimierten Anpassungen, wie in den nachfolgenden Anwendungsbeispielen gezeigt, wurde die enorme Standzeitverlängerung erreicht.

### Anwendungsbeispiel Gleitlager:



- (1) KSD-zweigeteilte Buchse aus 1.4301 mit Stellit 6M Beschichtung inklusive, Strömungsnuten  
 (2) Original Buchse aus bruchanfälliger Keramik

## Literaturverzeichnis

[1] Stefan Czerner; Schmelzbaddynamik beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Eisenwerkstoffen; Dissertation an der Fakultät Maschinenbau der Universität Hannover 2005

[2] Röthig, J.; Fütterer, A.; Boese, E.; Boridische FeMn-Hartlegierungen – eine Alternative zu konventionellen Hartlegierungen in der Tribotechnik; Vortrag auf der Tribologie-Fachtagung 1999, Reibung, Schmierung und Verschleiß; 27-29. September 1999, Göttingen

[3] HUGO JUNKERS Innovationspreis des Landes Sachsen Anhalt 2014 in der Kategorie „Innovativste Projekte in der angewandten Forschung“, vergeben an die KSD GmbH

[4] Jürgen Kästner KSD GmbH Köthen, Frank Gäbler Coherent GmbH; Werkstoffsimulation in generativer Fertigung; Schweißtechnik.AT 2015

## Herausgeber

Köthener Spezialdichtungen GmbH  
Deltaplatz 1  
D-06369 Kleinwülknitz

## Kontakt

**Köthener Spezialdichtungen GmbH**  
**Deltaplatz 1**  
**D-06369 Kleinwülknitz**

**Dr.-Ing. Jürgen Kästner**  
**Tel.:** +49 (0) 3496 5080-11  
**Fax.:** +49 (0) 3496 5080-20  
**e-mail:** j.kaestner@ksd-de.com

**Dipl.-Ing. Steffi Kästner**  
**Tel.:** +49 (0) 3496 5080-10  
**Fax.:** +49 (0) 3496 5080-20  
**e-mail:** s.kaestner@ksd-de.com

**IRAtec GmbH**  
**Dr.-Ing. Jürgen Röthig**  
**Badegaststr.6**  
**D 39126 Magdeburg**

**Tel.:** +49 (0) 391 5981200  
**Fax.:** +49 (0) 391 501 501  
**e-mail:** Webmaster@iratec.de

Layout Ines Schmiegel