

# SILL OPTICS NEWS

**Optics**  
■ made  
■ in  
■ Germany



## Laser Optiken

- Industrieller 3D Druck – Additive Fertigung
- Telezentrische f-Theta Objektive aus Quarz für Kurzpulslaser
- Kamerabasierte Prozessüberwachung in der Lasermaterialbearbeitung
- Optiken für 420 nm - 480 nm
- Beispiel für kundenspezifische Optiken: Beobachtung von Trapped Ions

## Laser Optics

- Industrial 3D printing – Additive manufacturing
- Telecentric fused silica scan lenses for short pulse laser
- Camera-based observation in laser material processing
- Optics for 420 nm - 480 nm
- Example for custom made optics: observation of trapped ions

## Messen / Fairs

Besuchen Sie uns / Visit us

**LASER** World of **PHOTONICS** 

**24. - 27. 06. 2019, Messe München  
Halle B3 / Stand 302**

# Industrieller 3D Druck – Additive Fertigung

## Industrial 3D printing – Additive manufacturing

Der 3D Druck - oder besser die additive Fertigung - ist der schichtweise Aufbau von Bauteilen aus feinem Pulver. Als Pulvermaterialien sind Kunststoffe, Metall aber auch Verbundwerkstoffe einsetzbar. Digitale 3D Konstruktionsdaten sind die Grundlage des Prozesses. Ursprünglich verwendet als Tool für die Herstellung von Mustern, Prototypen und Kleinstserien hat sich diese Art der Fertigung auch in der Serienproduktion in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern etabliert.

Sill Optics bietet verschiedene Objektive an, die unter anderem in der additiven Fertigung eingesetzt werden. Das neueste Objektiv in diesem Anwendungssegment ist das S4LFT0910/328. Das Objektiv wurde für eine große Scannerapertur von bis zu 30 mm ausgelegt. Die Kombination aus dem Linsenmaterial – synthetisches Quarz – und der absorptionsarmen Vergütung ist ideal für Anwendungen mit Hochleistungslasern. Weiterhin können durch das große Scanfeld vergleichsweise große Bauteile additiv gefertigt werden.

3D printing or rather additive manufacturing is the layer by layer building of components from fine powder.

Powder materials can be plastics, metals or even composite materials. Digital 3D data is the basis of this process. Formerly used for samples, prototypes or small series this production technique is well established in mass production in various applications.

Sill Optics offers a variety of lenses used in additive manufacturing. The most recent lens in this segment is the S4LFT0910/328. Designed for an aperture of up to 30 mm, combined with fused silica as lens material and the low absorption coating, the lens is the perfect choice for high power applications. Furthermore, its large scan field allows production of extended components.



part number	focal length [mm]	wavelength range [nm]	scan area [mm x mm]	max. beam-Ø [mm]	aperture stop [mm]	working distance [mm]	max. outside-Ø [mm]	length [mm]	mounting thread
S4LFT0910/328	910.0	1030 - 1090	500 x 500	30.0	47.0	1048.8	154.0	80.8	M110x1

## Justierdrehen zur Fertigung von Präzisionsoptiken

### Alignment turning for production of precision optics

Die Performance eines Objektivs hängt neben dem Design und der Linsenform auch stark von der Lage aller enthaltenen Elemente ab. Dabei kommt es vor allem auf einen möglichst geringen lateralen Versatz sowie einen minimalen Winkel zwischen Objektiv- und Linsenachse an. Das herkömmliche Verfahren zur Montage von Linsen ist das sog. Füllfassungsprinzip. Dabei wird der Luftabstand zwischen den ungefassten Einzel-linsen in einem Tubus durch Abstandringe vorgegeben.

Das Justierdrehen ermöglicht eine deutlich präzisere Montage und eine sehr genaue Zentrierung. Das zweistufige Fertigungsverfahren wird vor allem für high-end Anwendungen eingesetzt, wie z.B. für Space- oder Mikroskopobjektive. Dabei kommen im Gegensatz zum Füllfassungsprinzip gefasste Linsen zum Einsatz (Phase 1: Fassen). Optische Verfahren ermöglichen eine exakte Ausrichtung einer Einzellinse in der Anlage, sodass Linsen- und Maschinenachse übereinander liegen. In der zweiten Phase werden Durchmesser und Stirnflächen der Subfassung mit Keramikwerkzeugen abgedreht. Dabei sind Toleranzen von wenigen Mikrometern realisierbar.

Zwar ist das Verfahren deutlich aufwändiger als das klassische Füllfassungsprinzip, es eröffnet jedoch durch enorme Genauigkeiten ganz neue Möglichkeiten. Sill Optics setzt das Justierdrehen insbesondere für kundenspezifische Anwendungen mit hohen Anforderungen an die Zentrierung ein.

The performance of a lens depends on its design, the surface shapes, but also on the position of all included lens elements. A minimum lateral offset and a minimum angle between element axis and optical axis have an important role to play. The conventional assembly method uses spacer rings to define the distance between unmounted lenses inside a tube body.

Alignment turning enables a more accurate assembly, as well as high precision centering. The two-stage method is very useful especially for high end optics (e.g. space or microscope lenses). In contrast to the classic assembly method, alignment turning uses mounted lenses (phase 1: mounting). Optical methods enable an exact alignment of a single lens inside the device, hence lens axis and machine axis lie on top of each other. During the second phase the diameter, front and back face of the mount are turned off with ceramic tools. Centering tolerances of some micrometers are realizable.

Even though the method is much more complex, its high accuracy enables new possibilities. Sill Optics uses alignment turning especially for custom specific lenses with high centering specifications.

# Telezentrische f-Theta Objektiv aus Quarz für Kurzpuls laser

## Telecentric fused silica scan lenses for short pulse laser

Strahlfokussierung ist in vielen Bereichen der Optik ein wichtiges Thema. Dafür kann im einfachsten Fall eine einzige Linse mit entsprechender Brennweite genutzt werden. Bei ebenen Bearbeitungsflächen ist eine Einzellinse jedoch nicht ausreichend, weil durch das sphärische Bildfeld der Fokus nachgeführt werden müsste. Daher werden zur Kompensierung dieser Verschiebung f-Theta Objektive eingesetzt, die ein ebenes Bildfeld ermöglichen.

Bei telezentrischen f-Theta Objektiven kommt es darauf an, schräg einfallende Laserstrahlen von XY Galvanometer- oder Polygonscannern möglichst senkrecht auf das ebene Feld abzubilden, wobei die Fokusgröße nahezu konstant bleibt. Dabei ist ein möglichst großes Scanfeld wünschenswert, damit beispielsweise in der Lasermaterialbearbeitung ausgedehnte Bauteile ohne Verschiebung der Zielebene oder der optischen Einheit bearbeitet werden können.

Seit einigen Jahren bietet Sill Optics die Serie S4LFT4010 mit einer Brennweite von 100mm. Das ist eine Reihe von f-Theta Objektiven, die für unterschiedliche Wellenlängenbereiche vom Ultravioletten bis ins Infrarote ausgelegt sind. Das Objektiv S4LFT4125/075 (355 nm) ist eine Weiterentwicklung des S4LFT4010/075. Die Optik besteht ebenfalls komplett aus Quarzglas. Das Scanfeld wurde weiter optimiert und beträgt nun 50 mm x 50 mm statt von 35 mm x 35 mm. Das bringt eine geringfügige Vergrößerung der Brennweite von 100 mm auf 125 mm mit sich. Trotz der etwas längeren Brennweite, wird mit einem Eingangstrahldurchmesser von 10 mm ein Fokusdurchmesser von maximal  $8 \mu\text{m}$  ( $1/e^2$ ) im gesamten Scanfeld erreicht. Die Objektive S4LFT4126/292 (515 nm bis 545 nm) und S4LFT4127/328 (1030 nm bis 1090 nm) sind zwei weitere Versionen von Scanobjektiven mit einer Brennweite von 125 mm.

Darüber hinaus führte Sill Optics eine Serie mit 65 mm Brennweite für UV (S4LFT4067/075), grüne (S4LFT4066/292) und IR Laser (S4LFT4065/328) ein, die eine Feldgröße von 15 mm x 15 mm haben und Spotgrößen im Bereich von  $3 \mu\text{m}$  (UV) bis  $10 \mu\text{m}$  (IR) erreichen.

Alle Serien enthalten Optiken aus Quarzglas mit unseren absorptionsarmen Vergütungen nach industriellem Standard. Natürlich sind die Objektive frei von internen Geistern. Da auch keine externen Geister auf den Spiegelpositionen liegen, sind sie kompatibel mit Kurzpuls-lasern. Die neue Objektivserie ist für den spezifizierten Eingangstrahldurchmesser beugungsbegrenzt.

Beam focusing has an important role to play in many spheres of technical optics.

A single lens with a suitable focal length is the simplest solution. For even machining surfaces a single lens is not sufficient because the curved image surface requires repositioning of the focus. To circumvent complex movements, so called f-theta lenses are designed to compensate this position shift and provide an even image area.

Additionally they feature a consistent spot size over the whole scanning plane. Telecentricity is an option which provides a perpendicular incidence on the working plane. Furthermore, it is desirable to work with large scan areas, as they allow treatment of larger work pieces without moving the target or the optical unit.



For several years, Sill Optics offers the S4LFT4010 series with 100 mm focal length. This group of f-theta lenses for different wavelength regions from UV to IR offer comparably small spot sizes for increased fluence. The S4LFT4125/075 is an enhanced version for lasers with ultraviolet radiation and all lens elements consist of fused silica equally. The scan area has been improved from 35 mm x 35 mm to 50 mm x 50 mm. Despite the higher focal length, a focal diameter of  $8 \mu\text{m}$  ( $1/e^2$ ) can be reached inside the whole scan area with a 10 mm input beam diameter. S4LFT4126/292 (515 nm - 545 nm) and S4LFT4127/328 (1030 nm - 1090 nm) are two further options for scan lenses with a focal length of 125 mm.

Furthermore Sill Optics introduced a series with 65 mm focal length for UV (S4LFT4067/075), green (S4LFT4066/292) and IR (S4LFT4065/328) lasers providing field sizes of 15 mm x 15 mm to reach spot sizes in the range of  $3 \mu\text{m}$  (UV) to  $10 \mu\text{m}$  (IR).

All series incorporate fused silica lenses and our industry proven low-absorption coatings. Of course, there are no internal ghosts in lens elements or on scan mirrors and therefore they are compatible with short pulse lasers. The new lens series are diffraction limited for the specified input beam diameter.

part number	focal length [mm]	wavelength range [nm]	scan area [mm x mm]	max. beam- $\phi$ [mm]	aperture stop [mm]	working distance [mm]	max. outside- $\phi$ [mm]	length [mm]	mounting thread
S4LFT4125/075	125.0	355	53 x 53	10.0	36.8	156.9	106.0	106.3	M85x1
S4LFT4126/292	125.3	515 - 545	53 x 53	10.0	24.0	167.0	106.0	92.2	M85x1
S4LFT4127/328	125.2	1030 - 1090	50 x 50	15.0	33.5	158.1	106.0	108.2	M85x1
S4LFT4065/328	65.1	1030 - 1090	15 x 15	10.0	24.0	83.1	94.0	76.5	M85x1
S4LFT4066/292	67.2	515 - 545	15 x 15	10.0	24.0	85.8	94.0	73.3	M85x1
S4LFT4067/075	65.5	355	15 x 15	10.0	24.0	81.7	94.0	79.0	M85x1

# Kamerabasierte Prozessüberwachung in der Lasermaterialbearbeitung

## Camera-based observation in laser material processing

Um das Ergebnis der Lasermaterialbearbeitung direkt während der Bearbeitung beobachten und ggf. reagieren zu können, werden unter anderem kamerabasierte Prozessüberwachungsmethoden eingesetzt. Abhängig von der Anwendung sind dabei verschiedene Methoden möglich:

Bei der koaxialen Beobachtung durch das Scanobjektiv wird ein Teil des Lichts ausgehend von der Bearbeitungsfläche über das Scanobjektiv durch den Scankopf gelenkt und über einen Strahlteiler und ein Abbildungsobjektiv auf einen Sensor abgebildet. Das Beobachtungsfeld wird somit immer zusammen mit dem Laserstrahl über das Bearbeitungsfeld geführt. Die Auflösung wird durch die Apertur des Scanners begrenzt. Wegen der Differenz zwischen Laser- und Beobachtungswellenlänge bei normalen Scansystemen entstehen Verzeichnung und Bildfeldkrümmung. Während die Verzeichnung nicht vollkommen eliminiert werden kann, bietet Sill Optics zwei verschiedene Möglichkeiten die Bildfeldwölbung zu korrigieren. Sie kann durch den Einsatz von multispektralen f-Theta Objektiven (z.B. S4LFT8254/081) oder durch die Adaption der Fokusposition mit einem fokussierbaren Teleobjektiv (z.B. S5VPJ0303) kompensiert werden. Das S5VPJ0303 besitzt eine integrierte fokusvariable Flüssiglinse, durch die der nominale Arbeitsabstand des Objektivs um mehrere Millimeter elektronisch verändert werden kann. Hierdurch ist es möglich, das gekrümmte Bildfeld positionsabhängig nachzufokussieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Beobachtung eines Laserprozesses ist die Installation eines Objektivs mit seitlicher Ausrichtung auf die Bearbeitungsfläche. Durch die schräge Betrachtung entsteht abhängig von Kippwinkel, Arbeitsabstand und Feldgröße eine Weglängendifferenz zwischen Objektiv und Bearbeitungsfeld. Laut dem Scheimpflug-Prinzip kann die Unschärfe einer gekippten Objektebene durch eine ebenfalls verkippte Sensorebene kompensiert werden. Um dies zu realisieren, bietet Sill Optics kundenspezifische Adapter an, die am Objektiv sensorseitig angebracht werden. Durch den Einsatz von telezentrischen bzw. bi-telezentrischen Objektiven kann die durch die Verkippung entstandene Verzeichnung deutlich reduziert werden.

Für transparente Werkstücke gibt es noch die spezielle Möglichkeit, die Bearbeitungsfläche von unten durch das Objekt zu betrachten. Da dabei jedoch nicht nur die Beobachtungswellenlänge sondern auch die Laserstrahlung in das Abbildungsobjektiv tritt, muss das Objektiv spezielle Designkriterien erfüllen z.B. Vermeidung von Absorptionsspitzen und Anpassung an die Laserleistung.

Wir beraten Sie gerne im Hinblick auf geeignete Methoden zur Prozessbeobachtung für Ihr System und bieten Ihnen eine passende Optik.

Online observing laser manufacturing enables a quick analysis and thus an immediate reaction. One possibility is the camera-based process observation, whereby several methods are practicable for different systems:

In coaxial observation setups, light from the processed object passes the scan lens, the scan system and a beam splitter to be imaged with a telephoto lens on top of a sensor. Thus, a small field of view is moved simultaneously with the laser beam. Thereby, the resolution is limited by the aperture of the scanner. Due to the difference between laser and observation wavelength, distortion and field curvature occurs if a normal scan system is used. While distortion can only be decreased but not eliminated, Sill Optics can offer two solutions to correct the field curvature aberration. The field curvature on the camera sensor can be compensated by using a multispectral f-theta lens (e.g. S4LFT8254/081) or by adapting the focus position with a focusable telephoto lens (e.g. S5VPJ0303). S5VPJ0303 has an integrated fast focus tunable lens which can adjust electronically the nominal working distance of the lens for several millimeters. Thus, it is possible to refocus the curved image as a function of the field position.



Another possibility for observing a laser process is the installation of a lens with oblique orientation to the processing field. Caused by the oblique view, a difference in optical path occurs that depends on the tilt angle, working distance and field of view. The resulting blur at the field edges can be solved by using a lens that considers the Scheimpflug principle. It describes that the blur on an image caused by a tilted object plane can be compensated by tilting the sensor plane by a defined angle, too. To realize this, Sill Optics offers a custom specific adaptor that is

sensor-sided integrated into the lens. Distortion that is caused by the tilted view can be improved significantly by telecentric or bi-telecentric lenses.

For transparent workpieces there is also the opportunity of observing the working process through the material from below. Beside the observation wavelength the laser wavelength passes the imaging lens too. Because of that, the lens design has to fulfill additional criteria e.g. prevention of absorption peaks and suitability for the laser radiation.

We are pleased to support you regarding the appropriate method for process observation of your system.

## Optiken für 420 nm - 480 nm Optics for 420 nm - 480 nm

Seitdem neue Generationen von blauen Diodenlasern mit ausreichender Strahlqualität kommerziell erhältlich sind, steht der effizienten Bearbeitung von Buntmetallen oder Aluminium nichts mehr im Wege. Fasergeführte blaue Diodenlaser mit 450nm Wellenlänge werden z.B. von Kupfer wesentlich besser absorbiert. Folglich ist eine Steigerung der Effizienz und der Qualität eines Schweißvorgangs möglich. Sill Optics bietet hierzu f-Theta Optiken an, die eine hohe Apertur aufweisen, um auch mit großen Eingangsstrahlen arbeiten zu können.

Des Weiteren sind jetzt verschiedene Asphären im Portfolio, die sich exzellent dazu eignen, den aus dem Faserende unter einer bestimmten numerischen Apertur emittierten Laserstrahl zu kollimieren. Verschiedene Brennweiten stehen zur Verfügung, um unterschiedliche Strahlquerschnitte zu erreichen. Die neue Anti-reflexbeschichtung deckt einen Bereich von 420nm bis 480nm ab und ermöglicht somit den Einsatz von modernen Strahlquellen. In diesem Bereich werden weniger als 0,2% des einfallenden Lichts pro optischer Fläche reflektiert. Die folgende Tabelle zeigt die erhältlichen Modelle:

Since new generations of blue diode lasers with sufficient beam quality are commercially available, efficient processing of non-ferrous metals or aluminum is possible. Fiber-guided blue diode lasers with a wavelength of 450nm have the advantage that they are much better absorbed by copper, for example, so that the efficiency and quality of a welding process can be increased. For this purpose, Sill Optics offers f-theta optics with high aperture in order to be able to work with large input beams.

Furthermore, now there are various aspheres in the portfolio that are perfectly suited to collimate the laser beam emitted from the fiber end under certain numerical aperture. Different focal lengths are available to achieve different beam cross-sections. Sill Optics has designed the optical anti-reflective coating from 420 nm to 480 nm to cover a wide range of modern beam sources. In this range less than 0.2 % of the incident light is reflected per optical surface. The following table shows the currently available models:

### F-Theta Objektiv / F-theta lenses

part number	focal length [mm]	wavelength range [nm]	scan area [mm x mm]	max. beam- $\phi$ [mm]	aperture stop [mm]	working distance [mm]	max. outside- $\phi$ [mm]	length [mm]	mounting thread
S4LFT4125/373	128.9	420 - 480	40 x 40 20 x 20	20.0 30.0	40.5 46.0	162.0	106.0	106.3	M85x1
S4LFT3170/373	168.0	420 - 480	75 x 75 45 x 45	20.0 30.0	40.5 46.0	228.3	127.0	103.7	M85x1
S4LFT3250/373	240.9	420 - 480	115 x 115 80 x 80	20.0 30.0	40.5 46.0	304.7	159.0	91.3	M85x1
S4LFT1330/373	338.9	420 - 480	180 x 180 115 x 115	20.0 30.0	37.5 46.0	268.2	106.0	174.6	M85x1

### Asphären / Aspheres

part number	focal length [mm]	lens- $\phi$ [mm]	center thickness [mm]	working distance [mm]
S1ADX4350/373	50.0	38.1	14	41.9
S1ADX4360/373	60.0	38.1	12	53.1
S1ADX4370/373	70.0	38.1	11	63.7
S1ADX4380/373	80.0	38.1	10	74.3

# Beispiel für kundenspezifische Optiken: Beobachtung von Trapped Ions

## Example for custom made optics: observation of trapped ions

Neben Laser Optiken und Objektiven oder Beleuchtungen für die Bildverarbeitung sind kundenspezifische Optiken ein drittes großes Standbein von Sill Optics. Mit unseren kompetenten Entwicklungsingenieuren und unseren Mechanikkonstrukteuren steht unsere herausragende Expertise für sich. Da Mechanik und die Präzisionsoptik im eigenen Haus in Deutschland gefertigt werden, bieten wir Kunden und Forschungsinstituten Prototypen oder kleine und mittelgroße Serien an. Ein aktuelles Beispiel ist das Themengebiet der Trapped Ions (kalte Ionen). Das Interesse daran ist in den letzten Jahren wegen der Möglichkeit, Qubits von Quantencomputern zu speichern, stark angestiegen. Natürlich ist es wichtig, das genaue Verhalten der Qubits durch Experimente zu erforschen. Sill Optics hat sowohl Objektive nur für die Beobachtung als auch für die Kombination aus Beobachtung und Laserfokussierung entwickelt.

Des Weiteren verfügen diese Objektive über eine außergewöhnlich große NA und eine Einstellung der spezifischen Wellenlänge. Da die Vakuumkryostaten unterschiedliche Eigenschaften haben (z.B. Fensterdicke...), muss jedes Objektiv speziell für den entsprechenden Aufbau ausgelegt werden.

Beside laser optics and lenses or illuminations for machine vision, the third main pillar of Sill Optics are custom made optics. With highly proficient optical designers and developers

**Optics**  
**made**  
**in**  
**Germany**

of mechanical housings, our outstanding experience stands for itself. As mechanical and optical precision production are located in one place in Germany, we are able to provide prototypes or small and medium sized batches of optics specifically designed for customers' or research institutes' applications.

A very current example can be found in the field of trapped ions. Those cold ions are a research topic with increasing interest over the last few years because of their possibility to store Qubits and the related use for quantum computers. Of course, it is not only important to use them, but also to learn about their behaviour in detail via various basic experiments. Sill Optics has designed lenses both, for just observation and observation combined with laser focusing for such experiments.

Those lenses are exceptional for their high NA and adjustment to specific wavelengths. As the vacuum cryostats differ in dimension (e. g. the window thickness) every lens has to be designed specifically for the existing conditions.



**Wir stehen Ihnen bei Fragen gerne zur Verfügung.**  
We are pleased to answer your questions.



**Günter Toesko**  
Dipl.-Phys. (Uni)  
Senior Project Manager  
Laser Optics  
phone: +49 9129 9023-32  
guenter.toesko@silloptics.de



**Konrad Hentschel**  
Dipl.-Phys. (Uni)  
Research &  
Q.A. Manager  
phone: +49 9129 9023-16  
konrad.hentschel@silloptics.de



**Andreas Platz**  
M.Sc. (Engineering)  
Project Management  
Machine Vision  
phone: +49 9129 9023-18  
andreas.platz@silloptics.de



**Markus Klahr**  
Sales Manager  
phone: +49 9129 9023-19  
markus.klahr@silloptics.de



**Sill Optics GmbH & Co. KG**  
Johann-Höllfritsch-Str. 13  
90530 Wendelstein  
Germany  
Phone: +49 9129 9023-0  
Fax: +49 9129 9023-23  
info@silloptics.de  
www.silloptics.de