



5-Achs-Mikrobearbeitung

Das precSYS **Mikrobearbeitungs-Subsystem** ermöglicht die industrielle Ultrakurzpuls-Laser-Mikrobearbeitung von flexibel einstellbaren Geometrien, z.B. die Fertigung positiv-, negativkonischer oder ideal zylindrischer, runder oder elliptischer Bohrungen mit hohem Aspektverhältnis. Ausgestattet mit modernster High-End-Scan-Technologie, integrierter Steuerung, Embedded PC und benutzerfreundlicher Software ermöglicht das precSYS Mikro-Laser-Bearbeitungen mit höchster Dynamik und Präzision.

Die grafische Benutzeroberfläche unterstützt das einfache Erstellen und Testen von Mikrobearbeitungsprozessen. Der robuste und innovative Systemaufbau des precSYS garantiert höchste Zuverlässigkeit im industriellen Einsatz. Seine modulare und kompakte Bauweise und die durchdachten Hardware- und Software-Schnittstellen ermöglichen die einfache und optimale Integration in kundenspezifische Laser-Anlagen und vernetzte Fertigungsumgebungen (Industrie 4.0). Über Beobachtungsschnittstellen kann das precSYS um Zusatzkomponenten zur Prozess- und Strahlbeobachtung erweitert werden.

Mit der werksseitigen Voreinstellung und Kalibrierung sowie der Feinjustage-Automatik gewährleistet SCANLAB eine zeiteffiziente Justage und präzise Funktion des Systems.

Vorteile im Überblick:

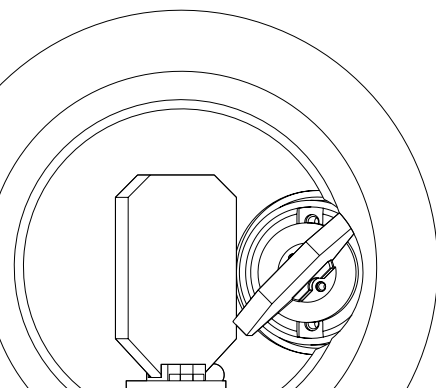
- Benutzerfreundliches Erstellen von Mikrobearbeitungsprozessen mit 3D-Visualisierung
- Flexible UKP-Bearbeitung mit variablem Anstellwinkel
- Hohe Zuverlässigkeit und Stabilität für höchste Präzision
- 515 nm-Variante für noch präzisere Laserbearbeitung
- Geschwindigkeitsunabhängige Konturtreue durch innovative Regelung und Ansteueralgorithmen
- Konzipiert für den Einsatz in der industriellen Serienproduktion
- Steuerungsschnittstellen Ethernet und EtherCAT
- Hochintegrierte Lösung mit Embedded PC
- Hochgenaue Vorkalibrierung und Justagesoftware
- Feinjustage-Automatik (Systemüberwachung)
- Umfangreicher Vor-Ort-Kunden-Service

Typische Applikationen:

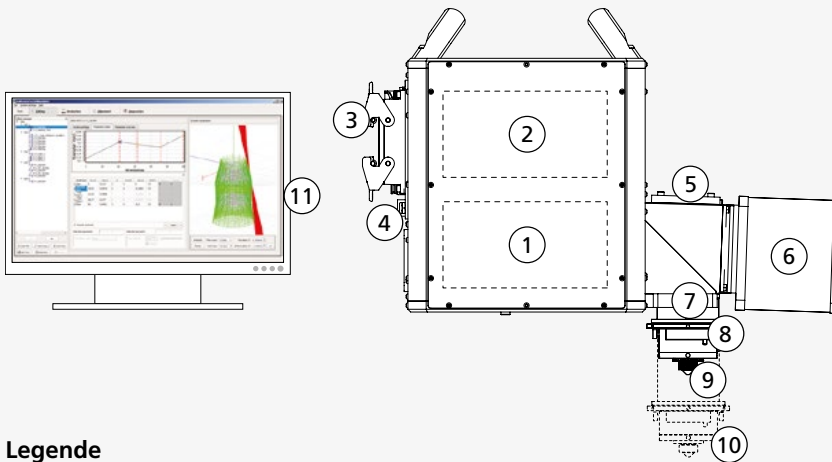
- Bohren
- Abtragen
- Strukturieren
- Schneiden

Typische Branchen:

- Automotive
- Elektronik
- Textilindustrie
- Medizintechnik
- Feinwerktechnik



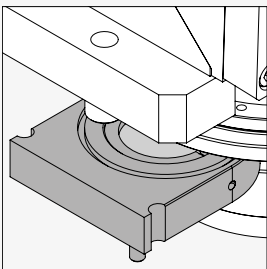
Systemübersicht (Basisversion ohne Optionen)



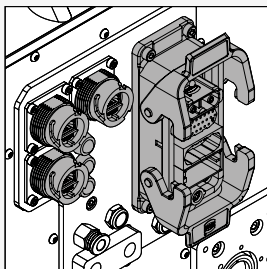
Legende

- 1 Gasgespülte 5-Achs-Scan-Einheit (x, y, z, Anstellwinkel α , β) mit Spülgasüberwachung
- 2 Steuerelektronik und Embedded PC
- 3 Ethernet-, EtherCAT- und Industrie-Anschluss (Anbindung an Power, SPS, Laser und Remote-Zugriff) und LED-Status-Kontrollleuchten
- 4 Wasserkühlung für thermische Stabilität (Galvo-Achsen und Elektronik separat gekühlt)
- 5 Prozessbeobachtungsschnittstelle
- 6 Strahlagemesseinheit (Feinjustage-Automatik)
- 7 Objektiv
- 8 Schutzglashalter mit Schublade für schnellen und sicheren Wechsel
- 9 Prozessgasdüse (justierbar in x, y, z)
- 10 Variante mit nach unten verlängertem Strahlaustritt auf Anfrage erhältlich
- 11 Software und grafische Benutzeroberfläche (GUI)

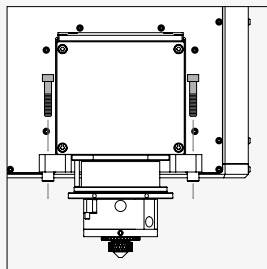
Hohe Industrietauglichkeit



Wechselschutzglas-Schublade



Industrietaugliche elektrische Anschlüsse (Ethernet, EtherCAT, Power, SPS, Laser) und LED-Status-Kontrollleuchten



Montagebohrungen in der Nähe des Objektivs zur exakten Fixierung des Strahlaustritts (3-Punkt-Auflage)

Funktionsprinzip

Mit dem precSYS ist die 3D-Positionierung des Fokuspunkts einschließlich einer präzisen Nachführung des Einfallswinkels AOI (Angle of Incidence) auf dem Werkstück möglich. Unter anderem sind Fokuspfad-, Einfallswinkel- und Laserintensitäts-Verlauf einstellbar.

Die High-End-Scan-Technologie mit kleinen Spiegelauslenkungen und geringen bewegten Massen ermöglicht eine hochdynamische Bearbeitung mit Trepanier- bzw. Präzessionsfrequenzen von bis zu 650 Hz (39.000 U/min). Das System kommt komplett ohne rotierende Optiken aus.

Der Einsatz modernster digitaler Encoder und Steuerungsalgorithmen, sowie die an die Anwendung angepasste Regelung ermöglichen eine konturtreue, geschwindigkeitsunabhängige Bearbeitung mit höchster Präzision. Das System ist stabil geregelt und garantiert eine Positionsstabilität bis zu einer Präzessionsfrequenz von 650 Hz. Der speziell für die UKP-Präzisionsbearbeitung entwickelte Optikpfad ist polarisationserhaltend und für Pulsenergien von bis zu 300 μ J bei 1030 nm und 65 μ J bei 515 nm ausgelegt.

Systemaufbau

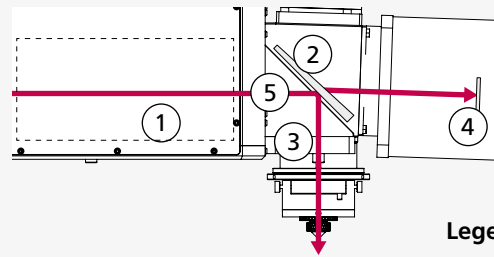
Die aktive Wasserkühlung der Strahlführungskomponenten (inklusive Galvo-Achsen) und der räumlich getrennten Elektronik macht das System robust gegen belastungsabhängige Temperaturänderungen. Zudem weist die innovative Strahlführung des Systems eine hohe Laserleistungsverträglichkeit auf. Der abgeschlossene und gasgespülte optische Strahlengang garantiert dank des anliegenden Überdrucks auch in industrieller Umgebung eine hohe Sauberkeit, die sich positiv auf die Lebensdauer des Systems und die Genauigkeit der Bearbeitungsergebnisse auswirkt.

Feinjustage-Automatik

Die werkseitig auf das precSYS vorkalibrierte Strahlagemesseinheit dient zur Kontrolle der Strahlage im System. Überschreitet die Abweichung der Strahlage die anwendungsspezifisch definierte Toleranzgrenze, so kann mit Hilfe der Software und der systeminternen fünf Galvo-Achsen die Strahlage in die ursprüngliche Nulllage nachgeregelt werden.

Vorteile:

- Die Strahllagestabilisierung nahe dem Bearbeitungsfeld minimiert Abweichungen im Strahlengang vom Laser bis zum Werkstück
- Dauerhaft reproduzierbare Bearbeitungsergebnisse ohne aufwändige Einflussanalysen und manuelle Nachjustagen
- Strahllageüberwachung mittels Wartungsprogramm
- Automatisierte Nachjustage der Strahllage (Position und Winkel) über die DrillControl-Software (Regelung über die systeminternen Galvo-Achsen)
- Unterstützt die Justage des precSYS bei der Inbetriebnahme und im Service-Fall

Feinjustage-Automatik**Legende**

- 1 fünf Galvo-Achsen
- 2 Strahlteiler
- 3 Objektiv
- 4 Strahllagemesseinheit (DrillControl-Software gesteuert)
- 5 Laserstrahlengang

Optionale Ausstattung**Strahlaufbereitungskomponenten**

- Anpassung von Strahldurchmesser und Divergenz am Systemeintritt sowie zur Einstellung einer zirkularen Polarisation im Bildfeld
- Alternativ als Strahlaufbereitungseinheit ohne Gehäuse und Gasspülung

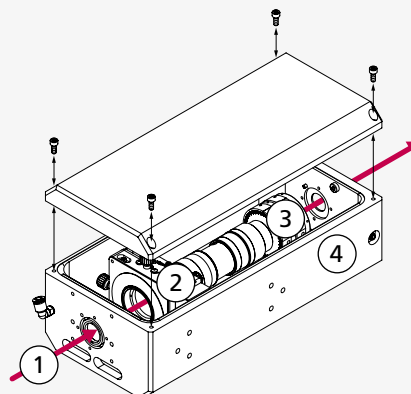
Komponenten zur optischen Prozessbeobachtung

SCANLAB bietet ein auf das precSYS abgestimmtes Kameraobjektiv mit optionalen Farbfiltern für eine Beobachtungswellenlänge von $880 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ (Beobachtung auch bei anderen Wellenlängen möglich) und Aufsätzen zur Auflösungsvergrößerung an. Es können auch andere kundenspezifische Komponenten an der Schnittstelle zur Prozessbeobachtung angebracht werden.

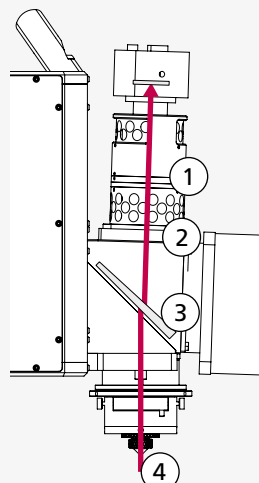
Weitere kundenspezifische Lösungen sind auf Anfrage möglich.

Innovation

Mit der patentierten Technologie des precSYS wird erstmals ein stabiles, rein galvobasiertes 5-Achs-Mikrobearbeitungs-Subsystem für hochpräzise Fertigungsprozesse in der Serienproduktion realisiert.

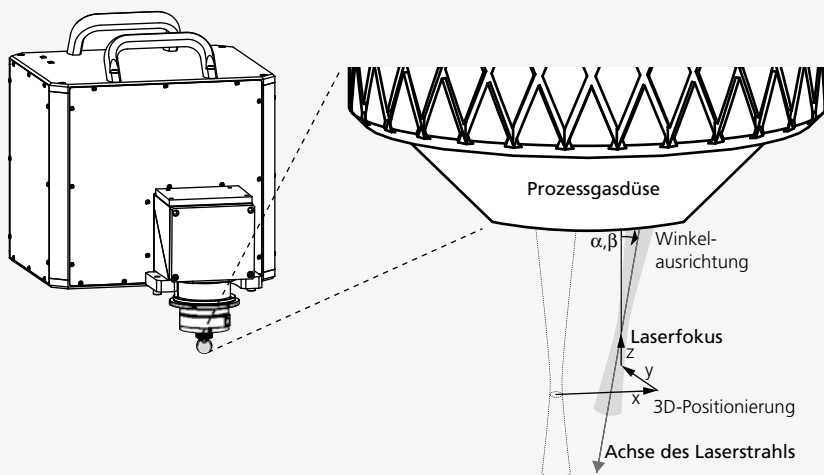
Strahlaufbereitungseinheit**Legende**

- 1 Laserstrahl
- 2 Strahlaufweiter mit Positionierer (x, y, Winkel), Strahlaufweitungsfaktor 0,25 ... 4 Divergenz einstellbar
- 3 Polarisierungseinheit ($\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Wellenplatte)
- 4 Gehäuse mit Spülgasanschluss und Schutzgläsern

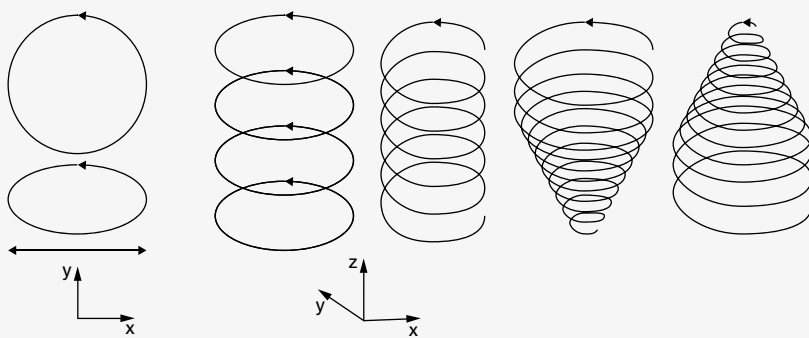
Komponenten zur optischen Prozessbeobachtung**Legende**

- 1 Kameraobjektiv, optional mit Farbfilter
- 2 Adapter
- 3 Strahlteiler
- 4 Beobachtungsstrahlengang

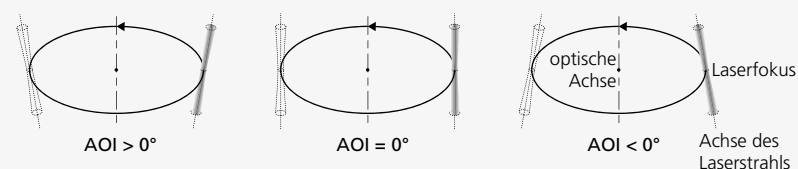
5-Achs-Positionierungsoptionen des Laser-Fokuspunkts



Beispielhafte 2D- und 3D-Laser-Fokuspfade



Einfallswinkel AOI auf dem Laser-Fokuspfad



Flexible Prozessführung

Dank seiner 5-Achs-Positionierungsmöglichkeiten (x, y, z, α , β) des Laserstrahls bietet das precSYS höchste Flexibilität bei der Entwicklung von Prozessstrategien.

Es können sowohl kreis-, ellipsen- oder linienförmige Bahnen in 2D oder 3D definiert werden (für Beispiele siehe Abbildung rechts). Bei allen Geometrien wird der Anstellwinkel während der Bahnbewegung wie vorgegeben nachgeführt. So führt das precSYS sowohl für das Bohren, als auch das Schneiden und Abtragen geeignete Bewegungspfade mit angestelltem Laserstrahl präzise aus.

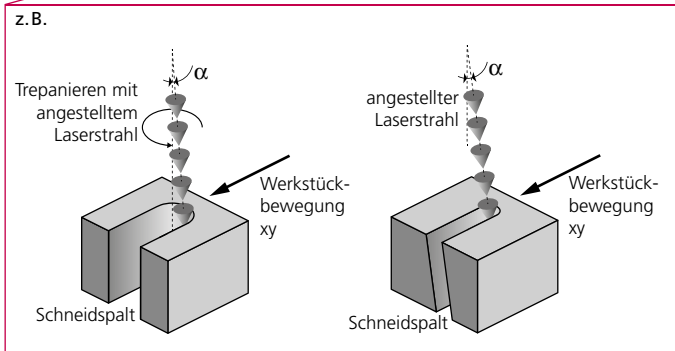
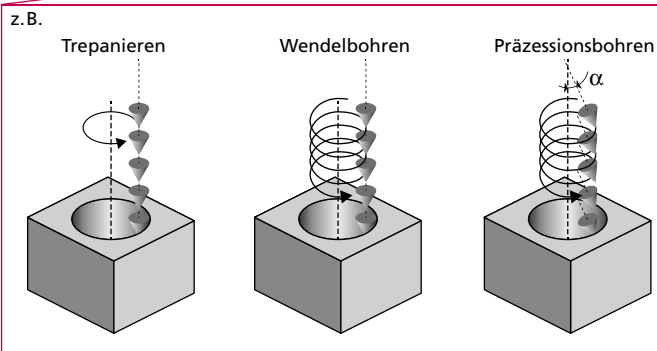
Im Gegensatz zum klassischen Trepanieren und Wendelbohren kann dadurch beispielsweise beim Präzessionsbohren wendelförmig mit einem angestellten Laserstrahl gearbeitet werden, so dass beispielsweise die Laserstrahlkaustik die Eintrittskante nahezu nicht beeinflusst. Mit den hohen Präzessionsfrequenzen des precSYS können so tiefe Bohrungen mit hohem Aspektverhältnis und senkrechtem Wandverlauf im Sekundentakt gefertigt werden. Ein ähnlicher Effekt kann auch für das Schneiden senkrechter oder definiert angestellter Wände genutzt werden.

Eine hoch präzise Bearbeitung kann mit dem vollen Anstellwinkelbereich von $\pm 7,5^\circ$ in einem runden Bildfeld von bis zu 2,5 mm erfolgen. Typische Pulsdauern, die zum Einsatz kommen, liegen im UKP-Bereich von 250 fs – 25 ps. Zusätzlich können in einem Bildfeld von bis zu 5 mm im Durchmesser Markierungen gesetzt werden.

Abtragen, Strukturieren

Bohren

Schneiden



DrillControl Software

Mit Hilfe der intuitiv bedienbaren Programmoberfläche (GUI) mit 3D-Job-Visualisierung lassen sich Bearbeitungsprogramme besonders leicht erstellen und simulieren. Die Kommunikation zwischen DrillControl bzw. Anlagensteuerung und DrillServer erfolgt über die Ethernet-Schnittstelle mittels TCP/IP-Protokoll oder die EtherCAT-Schnittstelle. Durch die werkseitige Kalibrierung erfolgt die Beschreibung der Bewegung des Laserstrahls dabei direkt in metrischen Einheiten im kartesischen Bildfeld-Koordinatensystem des precSYS. Die Software stellt den Bearbeitungsplan in einer 3D-Darstellung dar und ermöglicht eine einfache Jobprogrammierung sowie eine Variation der verschiedenen Bearbeitungsparameter.

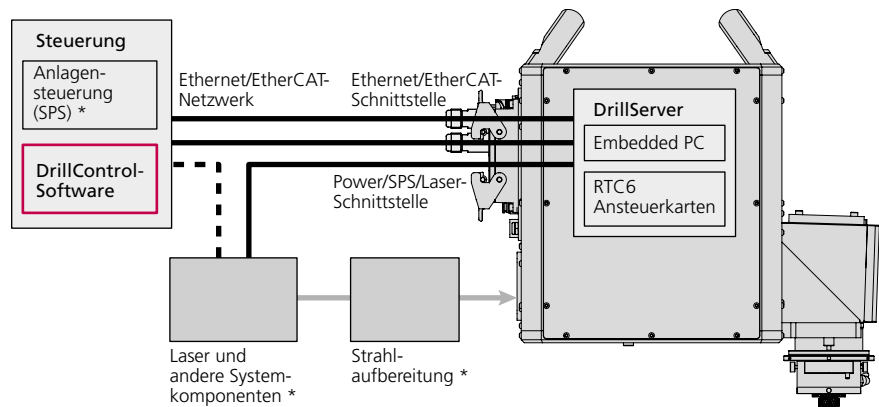
Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

- Bearbeitungssequenzdefinition mit 3D-Visualisierung des Laserpfades
- Verwaltung von Bearbeitungs-Jobs auf dem precSYS-System (Embedded PC)
- Vielfältige Simulations- und Testmöglichkeiten
- Darstellung von Parameterbeziehungen in Listenform und Diagrammen
- Keine Joblängenlimitierung
- Ansteuerung von bis zu 10 digitalen und 2 analogen Ausgängen mit beliebiger Rampenform zur Einstellung weiterer Parameter (z.B. Laserleistung oder Prozessgasdruck)
- Diagnoseoberfläche (Galvostatus, -temperatur, etc.)
- Softwareseitige Justageanpassung:
 - Einstellung der Fokusebene auf die Präzessionsebene
 - globale Offsets, Skalierungen und Rotationen für den Laserfokuspfad
 - Kennlinien zur Anpassung der Laserleistungsparameter

Funktionalitäten für die Produktion

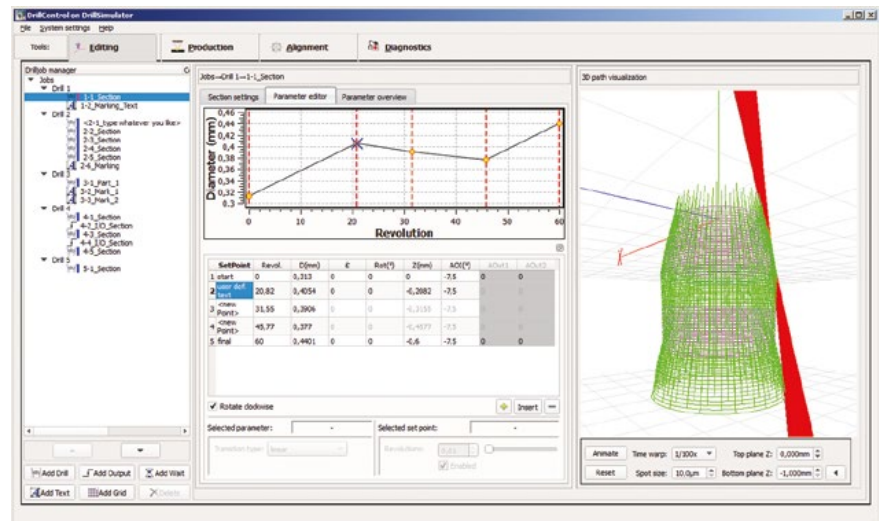
- Zusätzliche Benutzeroberfläche für den Produktionsbetrieb
- Einfache Verwaltung eines oder mehrerer Systeme über eine Software
- **Remote-Steuerung** über Ethernet oder EtherCAT zur Einbindung in die Anlagensteuerung (SPS): Einfaches Protokoll zum Definieren, Auswählen und Ausführen von Jobs (Job-Definition mittels XML inklusive Validierung) und zur Anpassung von Parametern zur Kompensation von Bauteiltoleranzen

Systemintegration und Ansteuerung

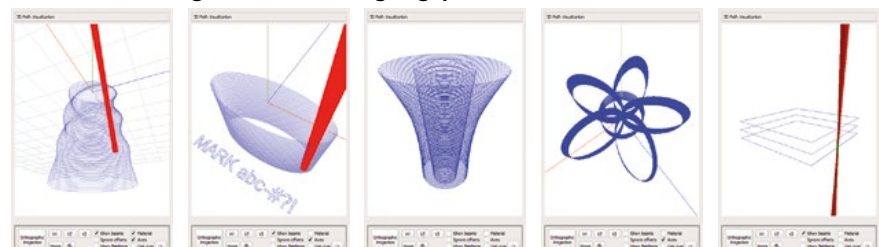


* Einige Systemkomponenten (wie z.B. Laser, elektrisch schaltbare Gasventile, motorisierte Polarisationsplatten, motorisierte Strahlaufweiter) werden von SCANLAB standardmäßig nicht angeboten.

Benutzeroberfläche DrillControl



3D-Visualisierung des Laserbewegungspfad



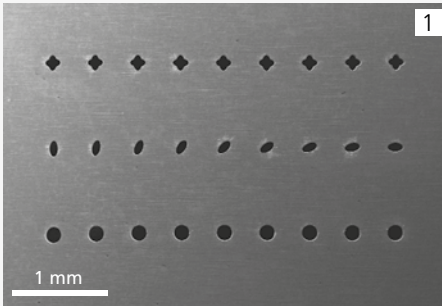
Schrauben-Geometrie mit negativem Konus

Ellipse mit Beschriftung

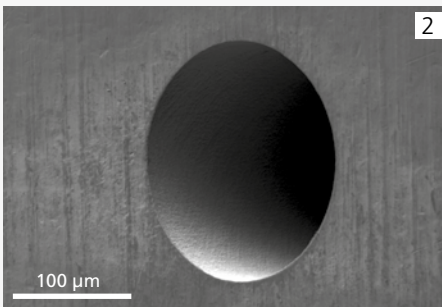
Innerer Konus linear, äußerer Konus interpoliert

Flexible Geometrie durch Überlagerung von Ellipsen und Kreisen (Baukastenprinzip)

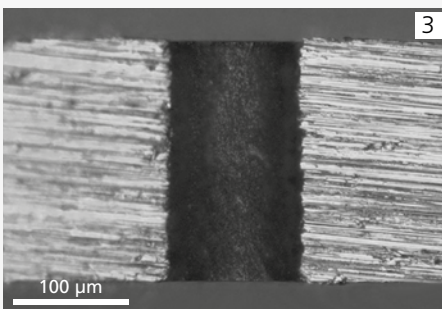
Linien bei variabler z-Position und AOI ≠ 0°



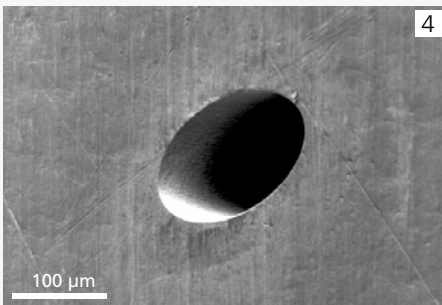
1 Flexible Geometrien in 300 µm Stahldicke
(REM-Aufnahme, Austrittsseite)



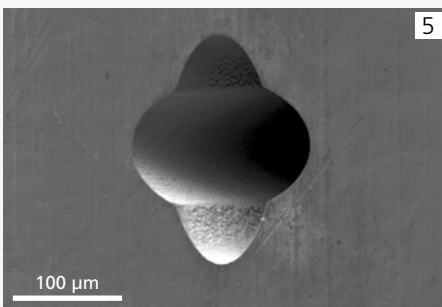
2 Ideal runde Einzelbohrung mit 200 µm Durchmesser aus Abbildung 1 vergrößert
(REM-Aufnahme)



3 Querschnitt einer 100 µm-Bohrung in 200 µm dickem Stahl mit senkrechtem Wandverlauf (Zero Taper), Prozesszeit 1 s



4 Bildausschnitt aus Abbildung 1: Elliptische Bohrung, 190 µm lang, 110 µm breit
(REM-Aufnahme)



5 Bildausschnitt aus Abbildung 1: Flexible Geometrie, hergestellt durch Überlagerung von zwei Ellipsen, jeweils 190 µm lang, 110 µm breit (REM-Aufnahme)

Bearbeitungsergebnisse

Bei der precSYS 5-Achsen-Lasermaterialbearbeitung können mit ultrakurzen Laserpulsen besonders feine Geometrien im Sub-Millimeter Bereich, bei hohen Aspektverhältnissen und bei kurzen Prozesszeiten realisiert werden. Typische Mikro-Applikationen sind dabei das Abtragen, Strukturieren, Bohren und Schneiden.

Dank der eingesetzten High-End-Scan-Technologie und der innovativen Kalibrierung, ermöglicht das precSYS das dynamische, hochpräzise Abfahren definierter Pfade im kompletten Bearbeitungsfelddurchmesser von bis zu 2,5 mm. Es ist möglich auch außerhalb der optischen Achse zu fertigen. Für die Bearbeitung eines Arrays an Bohrungen im Bildfeld ist somit kein xy-Verfahrtisch für die Positionierung des Werkstücks notwendig. Jede einzelne Bohrung kann mit einem individuellen Job, also mit individuellen Parametereinstellungen bearbeitet werden.

Mittels wendelförmiger Bearbeitung mit definiert angestelltem Laserstrahl sind qualitativ hochwertige, scharfkantige, grat- und schmelzefreie Bohrungsein- und -austritte fertigbar. So können beispielsweise präzise positivkonische (V-förmige), negativkonische (Λ-förmige) oder ideal zylindrische (II-förmige) Bohrungswandverläufe bei hohen Aspektverhältnissen hergestellt werden.

Mit dem precSYS können nicht nur 3D-Geometrien, sondern auch 2D-Markierungen gefertigt werden. Neben kreisförmigen, elliptischen oder linienförmigen Bearbeitungspfaden können ganz einfach auch Textmarkierungen mit verschiedenen Schriftarten und -größen in einem Bildfelddurchmesser von bis zu 5 mm gesetzt werden (z.B. zur Versuchskennzeichnung im Rahmen der Prozessentwicklung).

Aber auch komplexere Geometrien, wie beispielsweise Ellipsen und Quadrate sind mit senkrechtem Wandverlauf generierbar. Abbildung 7 zeigt beispielhaft ein 4x4 Array von Quadraten in Keramik mit Kantenlängen von 30 µm bei einem Aspektverhältnis von 1:10. Dank der werkseitigen Kalibrierung sind die Quadrate präzise im Bildfeld positioniert, so dass die

geforderte Wandstärke von 10 µm im gesamten Array eingehalten wird.

Wenn die zu bearbeitende Geometrie die Bildfeldgröße von 2,5 mm im Durchmesser übersteigt, so können zusätzliche externe Achsen für die Werkstückführung unterhalb des precSYS verwendet werden. Abbildung 9 zeigt eine Schneidapplikation, bei welcher Segmente aus einem 200 µm-dicken Messing-Bauteil mit senkrechtem Wandverlauf ausgeschnitten wurden. Die Wandqualität weist eine homogene defektfreie Oberfläche mit scharfen Kanten auf.

Qualität

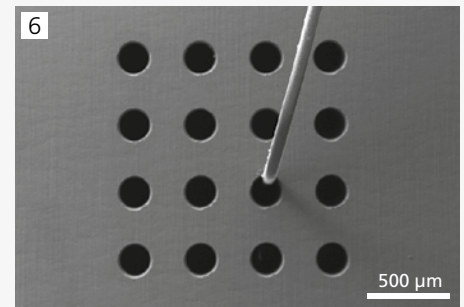
Die hohe Qualität, Zuverlässigkeit und Industrietauglichkeit der SCANLAB Scan-Lösungen ist das Ergebnis langjähriger Erfahrung in der Entwicklung und Fertigung von Galvanometer-Scannern und Scan-Systemen. Die SCANLAB Scan-Köpfe sind seit vielen Jahren in hohen Stückzahlen weltweit im industriellen Einsatz. Jeder einzelne Scan-Kopf wird erst nach Bestehen des SCANcheck-Dauertests zur Auslieferung freigegeben.

Kunden-Service

Dieses hochintegrierte System bietet einen produkteigenen Kunden-Service:

- Lokale Unterstützung der precSYS-Inbetriebnahme durch einen erfahrenen Service-Mitarbeiter
- Vor-Ort-Wartung und -Reparatur
- Umfangreiche Schulung für die effiziente Nutzung der Software und Durchführung von Wartungsarbeiten
- Durchführung von Software-Updates
- Fernwartung und Fehleranalyse (Remote-Schnittstelle)
- Telefon-Support durch technischen Service

200-µm-Bohrungen in Stahl, verglichen mit einem menschlichen Haar, hergestellt bei einer fixen Werkstückposition, ohne XY-Verschiebetisch (REM-Aufnahme)

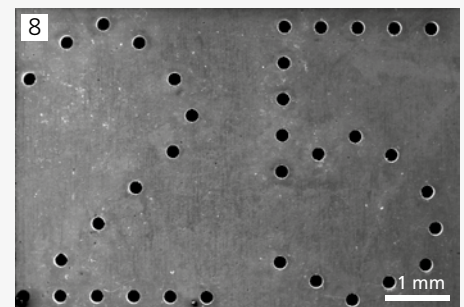


Ausschnitt eines 4 x 4 Quadratgitters in Keramik

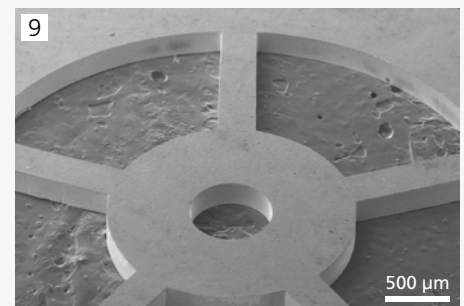
- Quadratgeometrie: 30 µm x 30 µm
 - Tiefe: 300 µm, Aspektverhältnis: 1:10
 - Senkrechter Wandverlauf
 - Eckenverrundungsradius: < 4 µm
 - Wanddicken: 10 µm
- (REM-Aufnahme)



200-µm-Bohrungen in 300 µm Stahldicke (Eintrittsseite), hergestellt durch Werkstückpositionierung mit XY-Verschiebetisch (REM-Aufnahme)

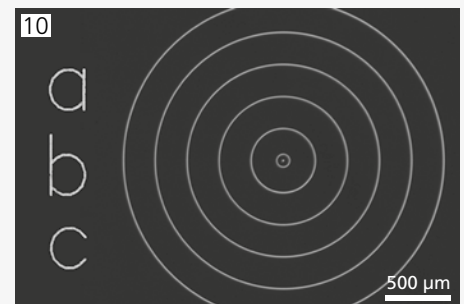


Schneidapplikation mit senkrechtem Schnittkantenverlauf in 200 µm dickem Messing-Bauteil (REM-Aufnahme)



Markiermuster für Beschriftungsaufgaben

- Buchstaben: Schrifthöhe 0,5 mm; Schriftart SimpleStraight3
- Kreisdurchmesser: 0 mm; 0,1 mm; 0,5 mm; 1,0 mm; 1,5 mm; 2,0 mm; 2,5 mm



Spezifikationen (Vorläufige Werte für precSYS 515)

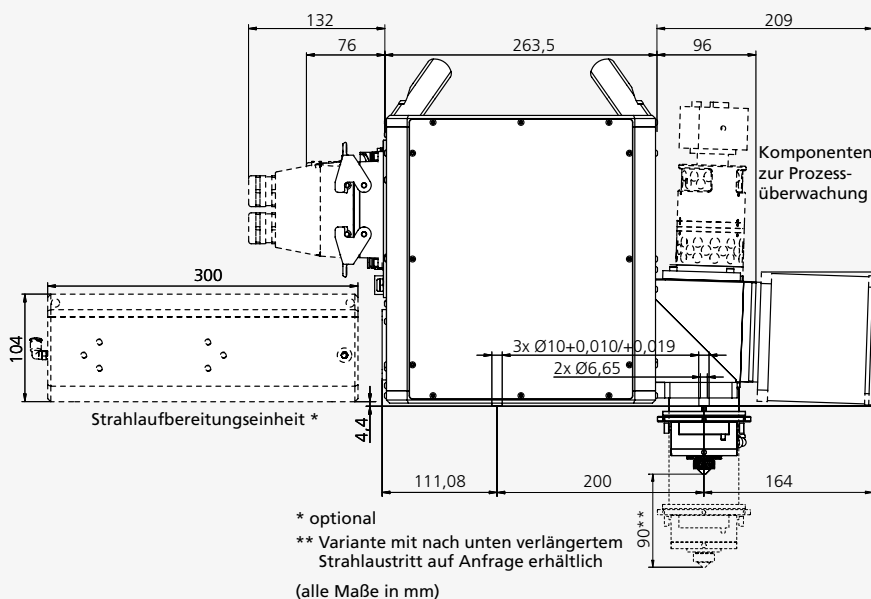
Wellenlänge	1030 nm	515 nm (Standard)	515 nm (min. Fokusedurchmesser)
Freie Apertur am Eintritt	4 mm	4 mm	4 mm
Typischer Eintrittsstrahldurchmesser (1/e ²)	2 mm	2 mm	2,5 mm
Typischer Fokusedurchmesser im Bildfeld (1/e ²) für M ² = 1,2	20 µm	10,2 µm *	8,2 µm *
Minimaler Fokusedurchmesser im Bildfeld (1/e ²) für M ² = 1,2	15 µm	8,2 µm *	tbd
Typischer Öffnungswinkel des fokussierten Strahls (voller Winkel, 1/e ²)	0,08 rad	0,08 rad	0,1 rad
Maximaler Anstellwinkel (AOI)	± 7,5°	± 7,5° *	± 7,0° *
Trepanier- bzw. Präzessionsfrequenz (für AOI max. und Ø 100 µm)	≤ 650 Hz (39 000 U/min)	≤ 650 Hz (39 000 U/min)	≤ 650 Hz (39 000 U/min)
Typische Laserpulsenergie	≤ 300 µJ	≤ 65 µJ	≤ 100 µJ
Typische mittlere Leistung	≤ 50 W	≤ 50 W	≤ 50 W
Typische Pulslänge	250 fs – 25 ps (bis cw)	250 fs – 25 ps (bis cw)	250 fs – 25 ps (bis cw)
Objektivbrennweite	75 mm	75 mm	75 mm
Effektive Brennweite	25 mm	25 mm	25 mm
Bearbeitungsfeldgröße (Durchmesser, abhängig von der Prozessgasdüsenöffnung)			
- Präzessionsbearbeitung	≤ 2,5 mm	≤ 2,5 mm	≤ 1,5 mm
- Markierbearbeitung	≤ 5 mm	≤ 5 mm	≤ 5 mm
Maximaler Fokushub in z-Richtung	± 1,0 mm	± 1,0 mm	± 1,0 mm
Maximale Fokusgeschwindigkeit in z-Richtung	10 mm/s	10 mm/s	10 mm/s
Theoretische Positionsauflösung im xy-Bildfeld	17 nm	< 20 nm	< 20 nm
Wiederholgenauigkeit im Bildfeld ⁽²⁾	≤ 0,5 µm	≤ 0,5 µm	≤ 0,5 µm
Theoretische Auflösung des Anstellwinkels	2 µrad	2 µrad	2 µrad
Polarisation im Fokus (nach Strahlaufbereitung)	zirkular	zirkular	zirkular
Gewicht	ca. 30 kg	ca. 30 kg	ca. 30 kg
Beobachtungsportwellenlänge	880 nm ± 10 nm; 1200 nm - 1400 nm	820 nm - 890 nm; 1230 nm - 1370 nm	820 nm - 890 nm; 1230 nm - 1370 nm
Achsen	5 werkseitig kalibrierte Achsen (x, y, z Koordinaten und 2 Anstellwinkel α, β)		
Spannungsversorgungs-Anforderung	30 V – 33 V, max. 6 A		
Daten- und Steuerschnittstelle	Ethernet (DrillControl, Remoteschnittstelle für SPS/Anlagensteuerung, XML Jobdefinition), EtherCAT, Externer Job Start/Stoptrigger		
Steuerung der Peripherie	2-Bit-Digital-Ausgang 8-Bit-Digital-Ausgang (SPS) Zwei 12-Bit-Analog-Ausgänge (0 ... 10 V) mit beliebiger Rampenform Job-Busy Ausgang		
(z.B. Laserleistung oder Prozessgasdruck) ⁽¹⁾			
Kühlung	Wasser, 25 °C		
Spülgas (für optischen Strahlengang)	Synthetische Luft gemäß ISO 8573-1:2010, Klasse [1:2:1] (weitere Gase auf Anfrage)		
Prozessgas	frei wählbar, max. 6 bar, 1 mm Prozessgasdüsenöffnung ⁽³⁾		
Wechselschutzglas (für Schnellwechselschublade)	ja		
Software	DrillControl (Benutzeroberfläche), DrillServer (auf Embedded PC)		

⁽¹⁾ Einige Systemkomponenten (wie z.B. Laser, elektrisch schaltbare Gasventile, motorisierte Polarisationsplatten, motorisierte Strahlaufweiter) werden von SCANLAB standardmäßig nicht angeboten.

⁽²⁾ Abweichung Durchmesser und Rundheit über 6 Stunden Dauerbelastung (für AOI = -7,5° ... 7,5°; Ø 0,09 mm ... 0,3 mm; f = 50 Hz ... 650 Hz; z = -1 mm ... +1 mm)

⁽³⁾ optional andere Düsenöffnung nach Bedarf möglich * gültig für Laser mit einer spektralen Bandbreite < 1,5 nm

Seitenansicht precSYS



Strahleintrittsseite

