

PRÄZISION IN EINER NEUEN DIMENSION

I KUGLER® I MIKROBEARBEITUNG UND OPTIK





KUGLER® MIKROBEARBEITUNG UND OPTIK – DIE ERFAHRUNG EINES VIERTEL-JAHRHUNDERTS FÜR...

Feinmechanik und Optik – Maschinenbau und Präzisionsfertigung optischer Komponenten aus Metallen: Die Verbindung dieser beiden anspruchsvollen Technologien bildet die Grundlage für die Aktivitäten unseres Hauses – und das seit mehr als 25 Jahren. Am Anfang standen einfache Spiegel für Hochleistungslaseranlagen, heute entwickeln, fertigen und montieren wir mit unserer innovativen Bearbeitungstechnik nicht nur Spiegel-

optiken, sondern auch komplexe Bauteile mit hochpräzisen Mikrostrukturen. Vom Barcode-Leser bis hin zu optischen Komponenten für Weltraumfahrzeuge, vom Wafer-Belichter bis zu Spritzgussformen für Automobilbeleuchtungen – überall tragen KUGLER® Produkte und Lösungen zum wirtschaftlichen Erfolg unserer Kunden bei.



Audit Bericht Nr. 70015406
DIN EN ISO 9001: 2000
Zertifikat Registrier Nummer: 12 100 26419 TMS





Die Geschäftsführer: Lothar Kugler mit seinen Söhnen Till und Jörg Kugler

...DIE TECHNISCHEN HERAUSFORDERUNGEN VON MORGEN

KUGLER® Ultrapräzisionsmaschinen und KUGLER® Laseroptiken und Systemkomponenten – das sind die Produkte, mit denen wir auf den Industriemärkten der Welt weithin wahrgenommen werden. Das KUGLER®-Logo, das stilisierte Interferogramm einer Messung mit Licht im Submikrometer-Bereich, symbolisiert die erfolgreiche Präsenz der KUGLER®-Aktivitäten in den Bereichen Ultrapräzisionsbearbeitung und Lasertechnologie. Aber nicht nur die unter dem eigenen Logo vertriebenen Komponenten machen die Entwicklungs- und Fertigungskompetenz des Hauses KUGLER® aus. Die größte Vielfalt an Produkten entsteht spezifisch gemäß den Anforderungen unserer Kunden: Metalloptik und Mikrobearbeitung als reine Entwicklungsarbeit, als Prototyp oder sogar als Serien-OEM-Produkt. Und das stets in einer nachvollziehbaren Qualität und einer wirtschaftlichen Fertigungsweise, die den Produkten mit dem KUGLER®-Logo in nichts nachsteht.

Dieser Katalog beschreibt die Techniken und typischen Produkte, mit denen wir uns in den Bereichen MIKROBEARBEITUNG und OPTIK erfolgreich beschäftigen.

Inhaltsübersicht:

- Anwendungsbereiche S. 4 – 5
- Technologie S. 6 – 8
- Optik inkl. Optikentwicklung S. 9 – 15
- Ultrapräzisionsbearbeitung S. 16 – 17
- Mikrobearbeitung S. 18 – 21
- Montage und Qualitätssicherung S. 22 – 23

Ausführliche Produktinformationen sowie Datenblätter zu den hier vorgestellten Produkten finden Sie auf unseren Internetseiten www.kugler-precision.com. Über unsere Ultrapräzisionsmaschinen sowie über Laseroptiken und Lasersystemkomponenten informieren Sie separate Kataloge.

ANWENDUNGSBEREICHE

KUGLER® Mikrobearbeitung und Optik. Unsere Produkte finden Verwendung in den verschiedensten Branchen und Anwendungsbereichen. Lassen auch Sie sich von der Vielfalt unserer Präzisionskomponenten überraschen!

LASEROPTIK UND LASERSTRAHLFÜHRUNG

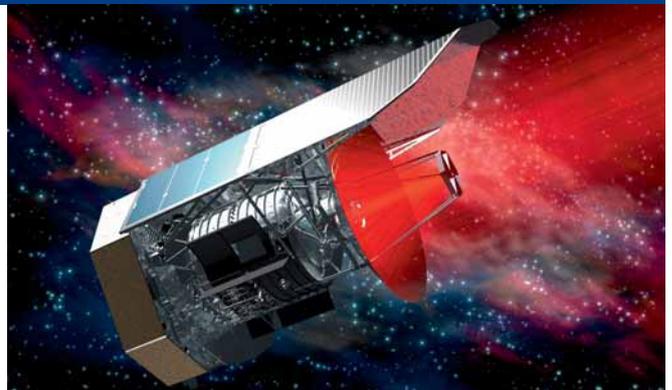
Direkt wassergekühlte Spiegel für Multi-Kilowatt-Hochleistungslaser, Fokussierköpfe, Strahlweichen, Scanneroptiken. Klassische Industrieprodukte, bei denen luftgelagerte KUGLER® Bearbeitungsmaschinen überhaupt erst eine wirtschaftliche Fertigung ermöglichen.



Mit freundlicher Genehmigung der Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH

WELTRAUMOPTIK

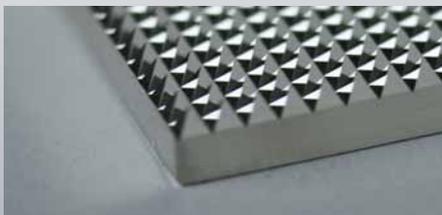
Aluminium-Leichtbauoptik für Satelliten, Spiegel für Sternwarten und Teleskope, Sensorkomponenten für die präzise Navigation von Raumfahrzeugen, komplexe Optiken für Infrarot-Spektrometer. Von der Materialauswahl bis hin zur Beschichtung deckt KUGLER® die gesamte Fertigungskette ab.



Mit freundlicher Genehmigung von EADS Astrium

GITTER UND STRUKTURIERTE WALZEN

Folien für TFT-Bildschirme, Lichtlenkung in der Architektur, diffraktive Elemente für Infrarotstrahlung. Werkzeuge und Optiken, gefertigt mit dem innovativen KUGLER® Know-how, bieten die höchste Kantenschärfe, die beste Oberflächenglätte!



Mit freundlicher Genehmigung von SeeReal Technologies

MEDIZINTECHNIK

Von Beginn an finden ultrapräzise KUGLER® Produkte ihre Anwendung in der Medizintechnik – hier ist hundertprozentige Zuverlässigkeit Pflicht! Präzisionsgeräte in der Endoskopfertigung, Polygonscanner in der Untersuchung und Behandlung von Augenfehlern mit Lasern, Mikro-Fokussierspiegel in der Laserstrahlführung des Chirurgen.



Mit freundlicher Genehmigung
der Ziemer Group AG

UP-MASCHINENKOMPONENTEN

Reibungslos ablaufende Luftlager für Maschinen in der Optikfertigung, für Messmaschinen, als Messlager mit geringster Reibung für nationale Kalibrierlabors. Alle diese Komponenten werden mit der gleichen Technik wie unsere Metallspiegel hergestellt – und natürlich mit der gleichen Präzision.



HALBLEITERBELICHTER

Vakuumspannplatten für Halbleiterwafer („Chucks“), Miniatur-Luftlager für die Nanometer-Positionierung in Wafer-Belichtern, Bauteile für Objektive und für die Laserstrahlführung. In der hier geforderten Genauigkeitsklasse steht mit der KUGLER® Ultra-präzisionsbearbeitung eine Technologie zur Verfügung, die äußerst wirtschaftliche Lösungen ermöglicht.



Mit freundlicher Genehmigung
von ASML

Auf dieser Seite haben wir Ihnen einige Anwendungsbereiche unserer Produkte aufgezeigt. Auf den folgenden Seiten dieses Kataloges stellen wir Ihnen die KUGLER® Schlüsseltechnologien sowie ausgewählte Beispiele aus unserem Produktspektrum vor.

Sie haben eine Idee für eine neue Anwendung, ein neues Produkt oder eine Problemlösung mit unseren Produkten und Techniken? Dann setzen Sie sich mit uns in Verbindung! Wir sind gespannt!

Luftgelagerte Führungen mit Ablaufvibrationen im Sub-Nanometer-Bereich, gleichförmig rotierende Luftlagerspindeln mit großen Scheiben, an denen ein einkristallines „Ein-Zahn“-Diamantwerkzeug befestigt ist und Bahn für Bahn über das Werkstück schneidet: Das ist die Technologie, mit der wir Spiegel aus Metallen fertigen. Die im Hause entwickelten, gebauten und optimierten **Fräsmaschinen** nennen wir **FLYCUTTER**. Sie stellen das Rückgrat der wirtschaftlichen Fertigung von hochwertigen Metalloptiken dar. Die Hauptwerkstoffe Kupfer und Aluminium sind für diesen besonderen Zerspanprozess bestens geeignet und zeichnen sich durch ihre günstigen optischen Eigenschaften aus: Aluminium für sichtbares Licht, Kupfer für nahes und fernes Infrarot, wie es die typischen Industrielaser aussenden.

Aber auch Plexiglas, Messing und Nickel lassen sich mit FLYCUTTERN in optischer Qualität bearbeiten. Beispiele finden Sie auf den folgenden Seiten.



Arbeiten an FLYCUTTER



Off-Axis-Fokussierspiegel



Bearbeitungsarm mit Laserinterferometer

Besser bekannt als das Fräsen ist das **Drehen mit Diamantwerkzeugen**. Das Diamantdrehen arbeitet ebenfalls mit extrem vibrationsarm ablaufenden Maschinenführungen und Spindeln. Typischerweise sind allerdings mehr Achsen im geregelten Einsatz als bei den FLYCUTTER-Maschinen.

Eine Ausnahme bildet das „R-Theta“-Verfahren, das wir seit über 25 Jahren anwenden: Im Gegensatz zu einer konventionellen Drehmaschine führt hier ausschließlich ein gleichförmig ablaufender, luftgelagerter Rundtisch die Vorschubbewegung des Diamantwerkzeuges aus, und zwar mit einer derart ruhigen Bewegung, wie sie sonst nur bei den FLYCUTTERN möglich ist. Ein laserinterferometrisch adaptiv geregeltes Piezoelement korrigiert den Radius der Werkzeugbewegung und ermöglicht somit eine exakte Oberflächenform.

Weitere Besonderheiten liefern unsere Drehmaschinen mit synchronisierter Zustellbewegung. Die präzise Kopplung der Werkzeugzustellung an die Winkelposition der Hauptspindel („Slow-Tool“) erlaubt die Herstellung nicht-rotationssymmetrischer Oberflächengeometrien. Drehteile werden möglich, die bei konventioneller Fertigung Spindeldurchmesser von mehreren Metern benötigen würden. Erst dieses Verfahren macht besondere Strahlführungskomponenten, wie Ringfokussierpiegel oder Leistungsintegratoren, wirtschaftlich mit hoher Genauigkeit herstellbar.

Darf es etwas länger sein? Die spanende Strukturierung von Prägwalzen zur Herstellung von Lichtleitfolien, z.B. für TFT-Monitore, erfordert eine neue Generation von Ultrapräzisionsmaschinen. Bei den KUGLER® **Trommeldrehmaschinen TDM** handelt es sich um luft- oder hydrostatisch gelagerte Systeme, die Walzen mit Längen von über einem Meter beidseitig aufnehmen. Das Strukturieren erfolgt durch Einstechen mit vorgeformten Diamantwerkzeugen oder durch „normales“ Drehen der Mantelfläche der Zylinder. Das Einstechen gehört zu den am weitesten entwickelten KUGLER® Mikrostrukturierungstechniken. Neben einer hohen Werkzeugstandzeit garantieren sie optimale Rauwerte der Strukturflanken und geringste Gratbildung.



TDM-2000

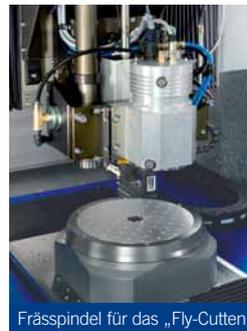
Fünf-Achs-Bearbeitung mit luft- oder hydrostatisch gelagerten Bearbeitungszentren. Die neue Generation der KUGLER® Mikrobearbeitungsmaschinen des Typs **MICROGANTRY®** erlaubt erstmals die nahezu standardmäßige Herstellung kleinster Strukturen mit hoher Genauigkeit direkt vom 3D-Modell aus. Die geschlossene CAD/CAM-Kette, die Integration maschinenbasierter Messtechnik sowie die regelmäßige Kalibrierung der Maschinenachsen, welche einen genauen Bearbeitungspunkt auch bei einer Rotation des Werkzeugs bzw. Werkstücks (RTCP) sicherstellt, ermöglicht Genauigkeiten bis in den Submikrometer-Bereich. Die Hochfrequenzspindel der Maschine erlaubt die Bearbeitung von gehärtetem Stahl mit Werkzeugradien unter 50 Mikrometern.

Ihre große Stärke spielt die MICROGANTRY® bei der Bearbeitung von Buntmetallen aus. Hier zeigen sich die Vorteile unserer langjährigen Erfahrung im Maschinenbau für die Optik. Wir erzielen auf der MICROGANTRY® spiegelnde Oberflächen mit Rauwerten unter 10 nm.

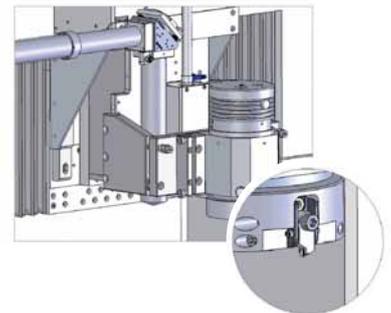
Sind Rauwerte um 10 nm nicht ausreichend, z.B. für Laser Spiegel, so können die KUGLER® Mikrobearbeitungsmaschinen mit entsprechenden Spindeln erweitert werden. Kleine **Fly-Cutter-Spindeln** fräsen „echte“ optische Oberflächen, luftgelagerte Rundtische realisieren Diamant-Drehprozesse. Und sollte dies immer noch nicht die Herausforderungen einer speziellen Bearbeitung meistern, so können wir ein Bauteil, dessen optische Flächen z.B. auf einer Diamantdrehmaschine bearbeitet wurden, auf der MICROGANTRY® exakt einmessen und weiter bearbeiten.

Picosekunden-Laser zur Strukturierung von Keramik, NdYAG-Laser mit hoher Pulsenergie zur Laserablation sogar bei Kupfer: KUGLER® Mikrobearbeitungsmaschinen sind mit einer **universellen Strahlführung** ausgestattet, welche die Fünf-Achs-Bearbeitung mit entsprechenden Strahlquellen ermöglicht. Eine universelle Bearbeitungsstrategie in Form einer geschlossenen CAD/CAM-Lösung liegt hier, zumindest für die Mikrobearbeitung, bislang nicht vor. Wir kooperieren jedoch auch auf diesem Gebiet mit Partnern an vorderster Front der Entwicklung. Was derzeit technologisch möglich ist, erhalten Sie bei uns!

Koordinatenmesstechnik im Submikrometer-Bereich: Wo unsere Interferometer nicht mehr weiterkommen, weil die zu untersuchenden Details zu klein sind, die Oberflächen nicht spiegeln oder die Oberflächengeometrie eine einfache Analyse der Wellenfront nicht zulässt, da bestücken wir unsere Mikrobearbeitungsmaschinen mit **hochempfindlichen Sensoren**. Berührungslos optisch messende Taster mit Auflösungen im Bereich weniger 10 Nanometer ergänzen konventionelle taktile Sensoren, geführt von den submikrometergenauen Achsen der KUGLER® Mikrobearbeitungsmaschinen.



Frässpindel für das „Fly-Cutten“



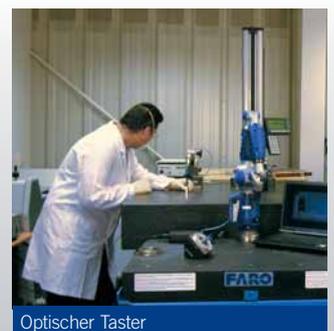
Laserbearbeitung



Strahlführung für Picosekunden-Laser



Werkstückmessung



Optischer Taster



Montage von Fokussierköpfen



Polygonscanner in Montagehalterung



Montage im Reinraum



Reinigung von Metalloptiken



CAD/CAM-Arbeitsplatz

Wir können präzisionsbearbeiten. Wir können aber auch mit höchster Präzision montieren! Für unsere Lasersystemkomponenten haben wir Techniken entwickelt, die auf speziell diamantbearbeiteten Passflächen beruhen und die **Präzisionsmontage** kostengünstig und unter Einhaltung der erforderlichen Winkel- und Abstandstoleranzen ermöglichen. 20 Bogensekunden, 10 Mikrometer! Oder 3 Bogensekunden und 1 Mikrometer, wenn es etwas genauer sein muss. Und das auch bei individuell zusammengestellten Strahlführungskomponenten unseres modularen Systems mit Aperturen von 35 mm, 50 mm oder 70 mm. Der Kunde profitiert davon. Die Optikkomponenten können ohne die sonst erforderliche Nachjustage zu Wartungszwecken entnommen und reproduzierbar wieder eingesetzt werden. Selbstverständlich sind diese Techniken auch auf kundenspezifische Produkte, die nicht in unserem Hause entwickelt wurden, anwendbar. Testen Sie uns, nutzen Sie unsere Montagekompetenz!

Sauberkeit muss sein! Ob Spiegel vor der Vakuumbeschichtung, Luftlager für die Halbleiterindustrie oder Optiken für Satelliten – wir wissen, wie kritische Verunreinigungen in einem industriellen Fertigungsumfeld vermieden werden. Wir reinigen und montieren auch im eigenen **Reinraum**. In Flowboxen erreichen wir eine Partikelfreiheit entsprechend Klasse 1000.

Innovative Produkte brauchen **innovative Ideen!** Facharbeiter mit langjähriger Erfahrung bedienen die Maschinen, fertigen und montieren die Präzisionsoptiken. Physiker und Ingenieure stehen ihnen zur Seite und erarbeiten die Fertigungsvorgaben, entwickeln die Produkte, berechnen die Bauteile.

Optiken und Strahlengänge berechnen wir mit kommerziellen Ray-Tracing-Programmen. Zur Ermittlung der Strahlpropagation von CO₂-Lasersystemen dient zudem eine proprietäre Software. Ein spezielles CAM-System erlaubt uns die Programmierung unserer Diamant-Bearbeitungsmaschinen mit Genauigkeiten im Bereich weniger Nanometer. Interferometrische Messungen mit Nanometerauflösung geben schließlich die Sicherheit, dass die Optik die vorgegebenen Spezifikationen erfüllt.

Wenn es nur um „Submikrometer“ geht, dann funktioniert auch die „ganz normale“ **Produktionskette**: Entwicklung und Konzeption durch unsere Physiker oder Ingenieure, nicht selten einfach auf einem weißen Blatt Papier, Erstellen eines Pflichtenheftes in Absprache mit dem Kunden, detaillierte Ausarbeitung eines Lastenheftes, anschließend Konstruktion und Erstellung von 3D-CAD-Daten. Ein CAM-Programm generiert den Code für die Bearbeitungsmaschinen, der von den Ingenieuren gemeinsam mit den Facharbeitern an der Maschine optimiert wird. Die Messung zur Qualitätskontrolle schließt die Fertigung ab.

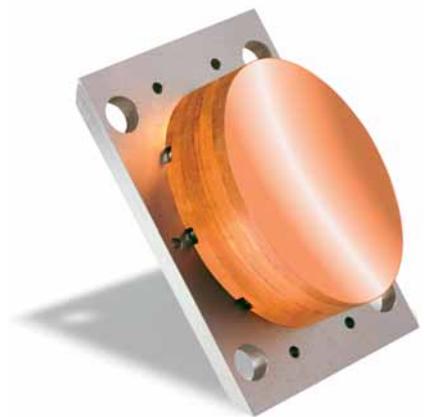
Kupferspiegel für Hochleistungslaser, mit Wasserkühlung für Laser bis 40 kW, aber auch einfache Kupfer-Planspiegel für kleinere Anlagen gehören schon immer zur KUGLER® Produktpalette. Anfangs waren die typischen **Umlenkfokussierspiegel** mit echter Parabel-Oberfläche noch eine Sensation, heute liegt die Herausforderung eher in der Entwicklung nicht-rotationssymmetrischer Spiegelflächen, die eine bestimmte, für einen speziellen Zweck gewünschte Strahlformung ermöglichen, z.B. Spiegel zur Erzeugung eines Ringfokus oder Spiegel zum Härten mit linienförmig homogener Intensitätsverteilung.



Sonderspiegel für Laseranlagen: Zylindrische Fokussierspiegel von einem halben Meter Länge und mehr, angewandt für das Ritzen von Elektro Stahl; Spiegel, die nur im Außenbereich des Strahls einen Teil der Energie für Messzwecke auskoppeln; oder einfach nur hochgenaue Fokussierspiegel mit Brennweiten um 1,5 m für „Remote-Welding“-Einsätze. Viele bisher undenkbar Spiegelgeometrien sind heute dank der flexiblen KUGLER® Diamantbearbeitung wirtschaftlich herstellbar.



Die KUGLER® **Adaptive Optik** für Infrarotlaser mit direkt luftbetätigter Membran stellt eine kostengünstige Alternative zu Zoom-Teleskopen oder beweglichen Linsen in Laserstrahlführungen dar. Das neuartige Kühlkonzept erlaubt den Einsatz dieser Spiegel auch bei Laserleistungen um 20 kW, die einen konventionellen Spiegel zerstören würden.



Oberflächenbeschichtungen für Metalle – zum Schutz, zur Reflexionserhöhung, für besondere optische Eigenschaften wie Zirkularpolarisation oder Rückreflexionunterdrückung. Wir führen industrieprobte Beschichtungen in unserem Programm. Viele davon sind auch auf Standardspiegeln günstig ab Lager erhältlich.

Name	Typ / Anwendung	Refl. [%]			Refl. [%] @ 633nm	Phasen- verz.
		@ 10,6 µm	45°s	45°p		
		0°	45°s	45°p		
R-HRC	Resonatorbeschichtung	99,9	99,9	99,7	—	< 2°
HRC	dielektrisch / Strahlführung / hohe Reflexion	99,8	99,8	99,4	> 80	< 2°
HG	Hartgold / Strahlführung / universeller Einsatz	98,9	98,8	97,6	> 90	< 2°
OFHC	unbeschichtet / Strahlführung / kostengünstig / für höchste Laserleistungen	99,2	99,4	99,0	> 90	< 1°
MO	Molybdän / bei hohen mechanischen Belastungen	97,5	98,4	96,6	> 55	< 1°
PR	90°-Phasenverzögerung / Zirkularpolarisator	—	98,8	98,5	> 80	90°± 2°
BRS	Absorptionsbeschichtung / zur Unterdrückung von Rückreflexionen	—	99	< 5	> 80	—

Beschichtungen für CO₂-Laser

Name	Typ / Anwendung	Refl. [%]			
		@ 1064 nm	45°s	45°p	@ 633nm
		0°	45°s	45°p	
Al	Aluminium, keine Beschichtung	92,0	94,0	89,0	90,0
OFHC	Kupfer, keine Beschichtung	97,0	97,7	96,3	91,0
PG	Gold mit Schutz, Gold + dielektrisch	96,0	96,7	95,3	90,0
HG	Hartgold (Plasmagold), rein metallisch	97,0	97,3	96,2	90,0
EGY	Enhanced Gold-YAG, dielektrisch, Multilayer	99,5	99,5	99,0	90,0

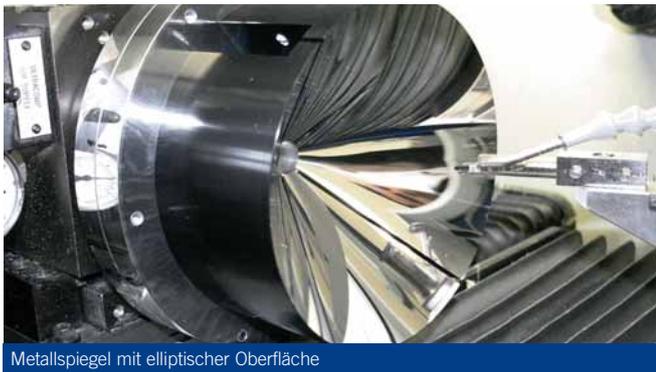
Beschichtungen für Mikrometer-Wellenlängenlaser



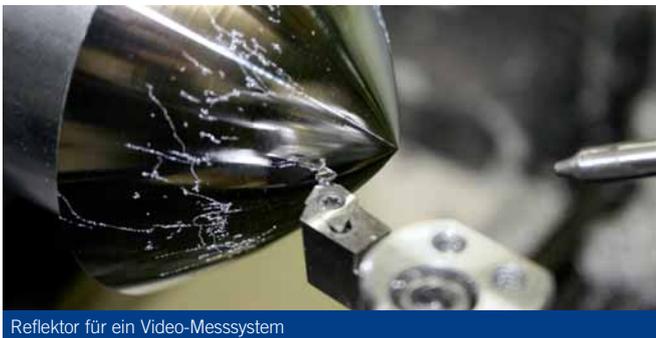
Über unsere Spiegel und Beschichtungen informiert Sie unser Katalog **LASEROPTIK UND SYSTEME.**



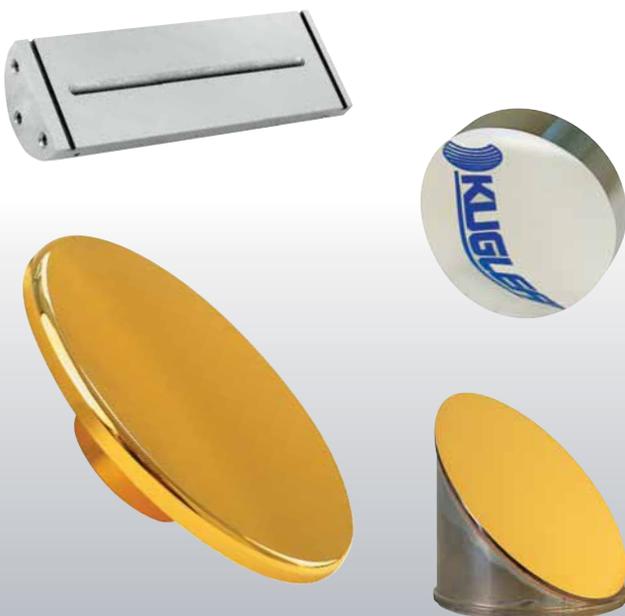
Drehen eines Aluminiumspiegels



Metallspiegel mit elliptischer Oberfläche



Reflektor für ein Video-Messsystem



Für **sichtbares Licht** wird Aluminium wegen seiner metallischen Reflexionseigenschaften gegenüber Kupfer bevorzugt. Ob Laserumlenkspiegel oder Spiegel für einfache Teleskope – Aluminiumspiegel bieten stets eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Glasspiegeln in Bereichen, wo die natürliche Materialtextur der Aluminiumlegierungen sowie die regelmäßige Struktur der Diamantbearbeitung das optische Ergebnis nicht beeinflussen. Und wenn dazu noch große Laser- oder Lichtleistungen gespiegelt werden sollen, dann hat Aluminium aufgrund der sehr guten Wärmeleitfähigkeit immer die Nase vorn!

Überall, wo die Spiegeloberfläche nicht eben oder kugelförmig sein muss, spielen diamantbearbeitete Metalloptiken aus Aluminium ihre **wirtschaftliche Stärke** aus. So sind beispielsweise hochgeöffnete Ellipsenspiegel zur Fasereinkopplung oder einfache Parabolspiegel auch als Einzelstücke deutlich günstiger herstellbar als vergleichbare Glasspiegel.

Bikonische Spiegel für Spektrometer oder wissenschaftliche Anwendungen: **Sonderformen**, die mit den KUGLER® Bearbeitungsmaschinen realisierbar sind. Ob für Spektrometer in der Umlaufbahn um den Mond, für terrestrische Beobachtungsstationen oder einfach nur im Labor einer Universität – fragen Sie uns!

Oberflächen, die Licht abhalten sollen: Loch- oder Schlitzblenden, Verschlussfahnen („Shutter“), Spiegel mit aufgerauten, streuenden Oberflächen. Auch hier ist Aluminium aufgrund seiner mechanischen Festigkeit und guten **Wärmeleitfähigkeit**, gepaart mit dem hohen Reflexionsvermögen, welches durch eine Beschichtung noch gesteigert werden kann, ein ideales Material für den Einsatz z.B. in Halbleiterbelichtern, in der Spektroskopie oder einfach nur im Bereich der Lasersicherheit. Mit unseren FLYCUTTERN lassen sich auch sehr dünnwandige Bauteile wirtschaftlich bearbeiten.

An frisch bearbeiteten Aluminiumoberflächen bildet sich innerhalb weniger Stunden eine dichte Oxidschicht. Sie bietet eine verbesserte Härte und Schutz vor Umwelteinflüssen und verhindert vor allem eine Beeinträchtigung der optischen Eigenschaften des metallischen Aluminiums im Bereich des sichtbaren Lichts. Natürlich können solche Spiegeloberflächen immer noch leicht zerkratzt werden. Wir versehen deshalb unsere Aluminiumoptiken häufig mit einer zusätzlichen, im Vakuum aufgetragenen Schutzschicht, **Aluminium mit Schutz**. Diese Schutzschicht kann auf den Wellenlängenbereich angepasst werden, auch im UV-Bereich. Die metallische Reflektivität des Grundmaterials bleibt im Wesentlichen auch hier erhalten. Aufwendigere Schichten erhöhen die Reflexion: Silber mit Schutz für den sichtbaren Bereich, „Enhanced Aluminium“ als

Verstärkerschicht für einen ausgewählten Wellenlängenbereich. Eine klassische Goldbeschichtung verbessert die Reflexion im Infrarotbereich, galvanisch aufgebracht Gold erzielt darüber hinaus einen perfekten mechanischen Schutz.

Fragen Sie unsere Experten, welche Beschichtung auf unseren Aluminiumoptiken am besten für Ihre Produkte und Anwendungen geeignet ist!

Optik, die nur deshalb eine Optik ist, damit **optische Messgeräte** mit ihrer Hilfe kalibriert oder überprüft werden können. Hinter dieser komplizierten Beschreibung stehen Bauteile mit sehr gut spezifizierten mechanischen Eigenschaften, z.B. einer Geradheit im Mikrometerbereich, einer Ebenheit im Submikrometerbereich oder einer Zylindrizität im Bereich unter einem Mikrometer. Diese Bauteile müssen spiegeln, damit das zu überprüfende Messgerät, sei es ein optischer Taster oder ein Videomessgerät, die Oberflächen „sehen“ und exakt erfassen kann.

Winkelgenauigkeiten im Sekundenbereich für die **Kalibrierung** von Rundtischen oder die Justage von Satelliten. Eine spiegelnde Oberfläche ist auch hier erforderlich, damit Autokollimatoren oder Interferometer die Oberfläche berührungslos erfassen. Allerdings steht nicht die Ebenheit, sondern die Winkeltreue der Bauteile im Vordergrund – seien es die Winkel der optischen Flächen untereinander oder die Winkel in Bezug auf die Anschraubfläche.

Nicht nur zum Kalibrieren – KUGLER® **Präzisionspolygone** werden ebenso in der Medizintechnik oder für den industriellen Einsatz benötigt, für Laserlichtschranken, Barcode-Lesegeräte oder zur Leiterplatteninspektion, mit Winkelgenauigkeiten im Bereich von 1/1000 Grad.

KUGLER® **Kupferpolygone** mit extremen Durchmessern bis über 700 mm für das Ritzen von Elektrostahl mit starken Lasern: Zusammen mit langen zylindrischen Fokussierspiegeln erzeugen sie Lichtlinien, welche die schnell durchlaufenden Stahlbänder in einer Breite von über einem Meter zuverlässig strukturieren.

Scanner zum Arbeiten am menschlichen Auge: Wir liefern die Polygonspiegel, speziell beschichtet für den Einsatz mit Femtosekunden-Lasern, mit dem gleichmäßig ablaufenden Antrieb dazu. Bei dieser Scannereinheit steht Zuverlässigkeit an erster Stelle – damit es beim Aufschneiden der Hornhaut des Auges nicht zu „unerwünschten Nebenwirkungen“ kommt!



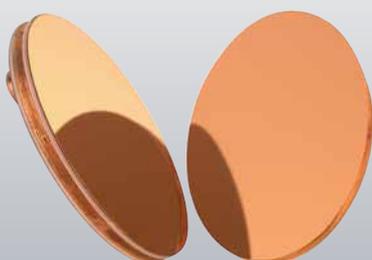
Spiegelndes Geradheitsnormal



Referenzzylinder für Rundheitsmessplatz



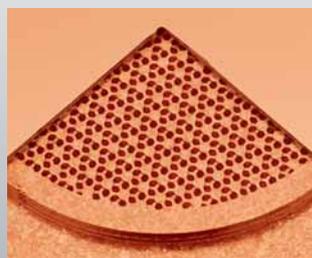
Scannermessplatz



Toroidspiegel mit Durchmessern von 900 mm, große Rechteckspiegel mit Kantenlängen von über einem halben Meter – plan, sphärisch, oder sogar **nicht-rotationssymmetrisch**: Das Beispielfoto oben zeigt einen sphärischen Spiegel mit langer Brennweite, der Bestandteil eines großen Solarofens ist.

Leichtbauspiegel für Scanner: Bewegte Spiegel für das Laserschweißen in großen Abständen oder für das Finden der Andockposition eines Raumfahrzeugs. Wir beherrschen die **Wärmebehandlungsprozesse**, ohne die sich solche, durch Ausfräsungen leicht gemachte Spiegel unweigerlich verziehen würden. Unser Verfahren gewährleistet ein betriebssicheres Arbeiten mit solchen Optiken auch ohne Wasserkühlung.

Für größere Leistungen mit **Wasserkühlung**: Unsere effiziente Kühlung direkt unter der Spiegeloberfläche ist auch in große, dünne, vornehmlich aus Kupfer gefertigte Spiegel integrierbar. Der Aufbau unserer Spiegel ermöglicht auch einen kurzzeitigen Betrieb ohne Kühlwasser. Zur Sicherheit, im Falle eines Ausfalls!

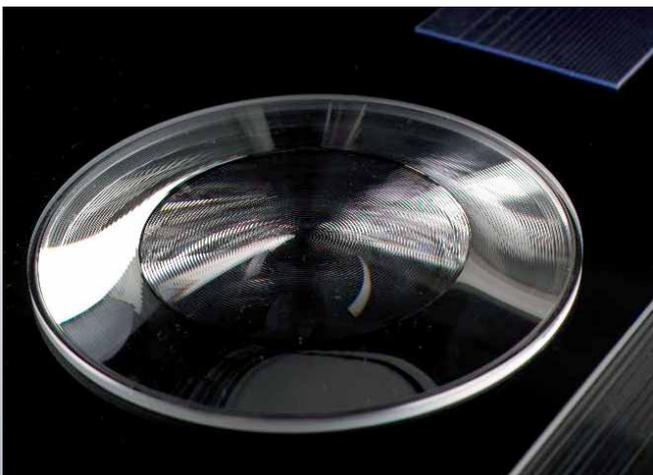
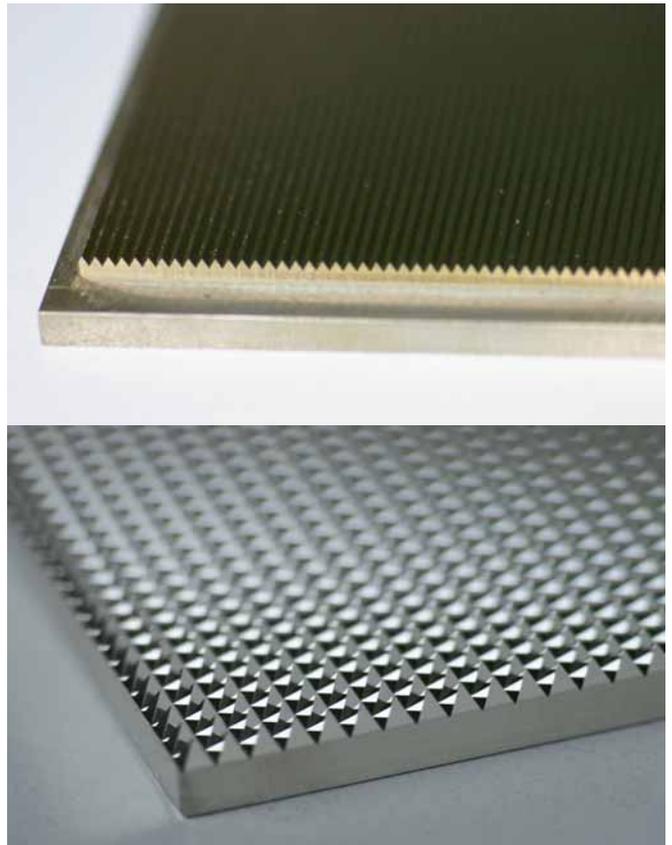


Gitterspiegel: Lange, gerade Nuten mit V-förmiger oder zylindrischer Kontur, mit Abständen von wenigen Mikrometern bis hin zu etwa einem Millimeter, mit Nuttiefen in der gleichen Größenordnung. Wir fräsen, wo andere hobeln. Extrem glatte Flanken und eine geringe Gratbildung sind dabei unsere Vorteile. Auch extrem feine Pyramidenstrukturen sind herstellbar. Hier wird die KUGLER® Lineargittertechnik einfach mehrmals auf das gleiche Werkstück angewandt und unter zwei oder drei Winkeln um die Flächennormale gedreht bearbeitet. Zu den Einsatzgebieten gehören Reflexionslichtschranken, Infrarot-Messtechnik, Retroreflektoren.

Physikalisch ist dem Fertigen linearer Gitterstrukturen das Einstechen mit Formdiamanten in rotierende Walzen ähnlich. Die abgebildete **Walze** wurde mit einer KUGLER® Trommel-drehmaschine Typ TDM strukturiert: 90° V-Nuten mit einer Gitterkonstante von 20 Linien pro Millimeter und einer Tiefe von 50 Mikrometern dienen als Prägwerkzeug für Kunststoff-Folien, die in der Beleuchtungstechnik für TFT Monitore zum Einsatz kommen.

Ebenfalls zur Herstellung von Lichtleitfolien dienen kontur-gedrehte Kurzwalzen. Bei der Fertigung dieser komplexeren Konturen „schreibt“ ein Werkzeug mit kleinem Spitzenradius (z.B. 10 Mikrometer) die gewünschte Sollkontur direkt in die rotierende Zylinderoberfläche. Dem Design von Oberflächenkonturen sind nur wenige Grenzen gesetzt, neuartige Beleuchtungssysteme werden möglich.

Nicht nur auf Kupfer oder Nickel, sondern auch direkt geschnitten in transparente Kunststoffe: **Fresnel-Optiken** realisieren mit wenig Materialeinsatz und geringem Gewicht optische Abbildungsleistungen, die den so genannten „dicken Linsen“ fast entsprechen. Der Einsatz von Diamantwerkzeugen mit kleinen Spitzenradien bis in den Mikrometerbereich hält Verluste an den Übergangskanten der einzelnen „Sägezähne“ gering. Die an vielen KUGLER® Bearbeitungsmaschinen verwendete Mikromesstechnik kompensiert die resultierenden geringen Werkzeugstandzeiten. Frische Werkzeuge können reproduzierbar neu eingesetzt werden.



Mit freundlicher Genehmigung
von Fresnel's Optics



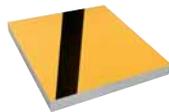
Flugzeugfenster



Bearbeitung eines PMMA-Fensters

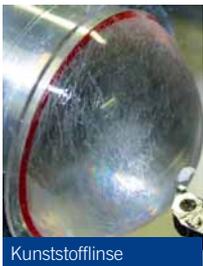


Maschine mit Messbrücke



Nach dem Ausbruch des Vulkans St. Helen wurde ein erhöhter Verschleiß von **Flugzeugfenstern** durch Partikel in der oberen Atmosphäre festgestellt. Seitdem ist die großflächige Bearbeitung von Plexiglas-Kabinenfenstern von Passagierflugzeugen ein wichtiger Anwendungsbereich von KUGLER® Ultrapräzisions-Bearbeitungsmaschinen. Starke Vakuumpumpen saugen die gewölbten Fenster an. Die durch das Ansaugen flachen Scheiben werden mit der FLYCUTTER-Spindel, bestückt mit Diamantwerkzeugen, rissfrei bearbeitet. Und das im Minutentakt!

Mehrlagige Platinen für Halbleiterbauelemente auf einem Keramikträger? KUGLER® FLYCUTTER bearbeiten die **Polyimid-Isolationsschichten** auf die erforderliche Dicke, nachdem das Werkstück automatisch nivelliert und der erforderliche Schichtabtrag ermittelt wurde. Natürlich optisch berührungslos!



Kunststofflinse

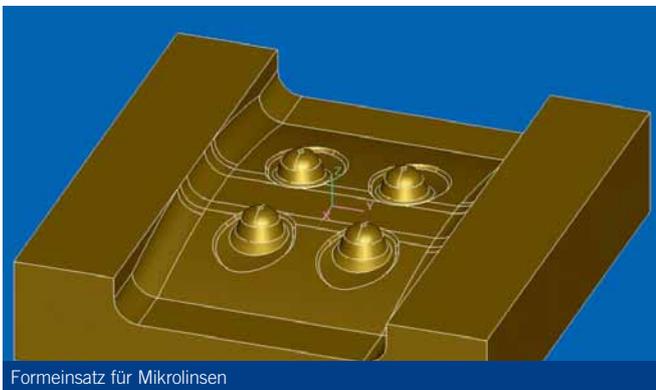


Kunststofflinse mit Träger



Miniatur-Kondensor

Kunststofflinsen mit Durchmessern von wenigen Millimetern bis hin zu über 300 Millimetern: Direkt gedreht mit Diamantwerkzeugen auf unseren luft- und hydrostatisch gelagerten Maschinen. Die bei PMMA erzielten Rauwerte liegen im Nanometerbereich, die Formgenauigkeiten entsprechen den Genauigkeiten unserer Kupferoptiken und liegen teilweise im Bereich von kaum mehr als 50 Nanometern. Bei kleinen Stückzahlen ist diese direkte Fertigung von Optiken eine preisgünstige Alternative zum Spritzgießen.



Formeinsatz für Mikrolinsen

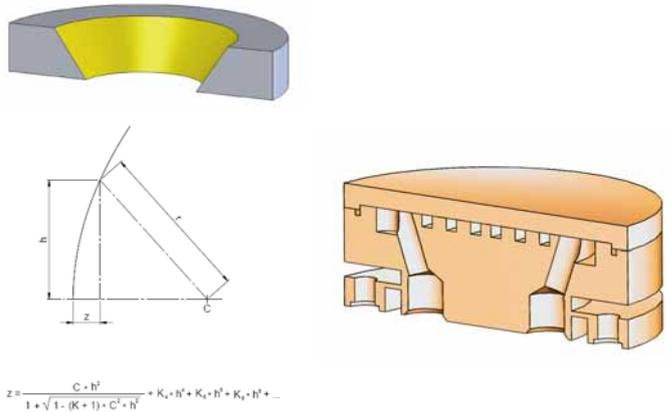
Mikrolinsenarrays – eindimensional oder auch zweidimensional: Entweder nutzen wir die Möglichkeit unserer Maschinen auch „unrund“ zu drehen (die Winkelposition der Werkstückspindel wird mit der Werkzeugzustellung präzise synchronisiert) oder wir verschieben die Werkstücke auf der Hauptspindel der Maschine und bearbeiten jede der Linsen einzeln – oftmals immer noch eine wirtschaftliche Lösung!



Formeinsatz Lichtleitoptik

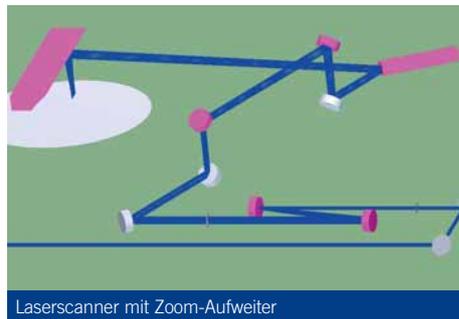
Wenn Kunststoffe nicht direkt bearbeitet werden können oder größere Stückzahlen gewünscht sind, dann fertigt KUGLER® die passenden Formeinsätze und Prägemaster aus **nickelbeschichtetem Stahl** oder aus Messing!

Wir fertigen nicht nur Optiken, wir legen sie auch aus, konstruieren und zeichnen sie: Befestigungsmöglichkeiten, die eine Deformation der empfindlichen Oberflächen ausschließen, effiziente Wasserkühlungen inklusive Entwicklung des erforderlichen Lötprozesses, Oberflächenbeschichtungen zur Verbesserung der optischen und mechanischen Eigenschaften und nicht zuletzt die Spiegelfläche. Wir berechnen, welche Form die Oberfläche haben muss, um den gewünschten optischen Effekt aufzuweisen. Ob ein einfacher Fokus, eine optimierte Leistungsverteilung, z.B. zum Laserschweißen, oder ein Spiegel für ein Teleskopsystem – unsere langjährige Erfahrung in der **Optikauslegung** hilft uns, die vorhandene Berechnungssoftware optimal zu nutzen.



$$z = \frac{C \cdot f^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1) \cdot C^2 \cdot f^2}} + K_1 \cdot f^2 + K_2 \cdot f^2 + K_3 \cdot f^2 + \dots$$

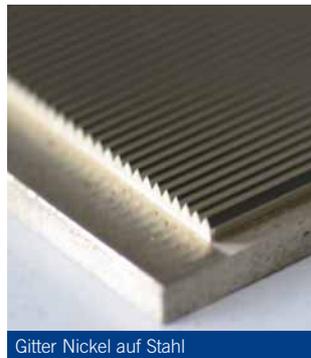
Arbeiten mit parallelem Licht? Nicht ganz. Laserlicht ist nur fast parallel. Das ist die Herausforderung bei der **Auslegung moderner Laserstrahlengänge**. Die Strahltaile muss an der richtigen Stelle (z.B. auf der Fokussieroptik) liegen, der Taillendurchmesser muss die richtige Größe haben, und das möglichst konstant über den gesamten Arbeitsbereich. Ob nun ein einfacher Strahlaufweiter oder gar eine komplexe Bearbeitungsanlage mit Scanner und Zoomfunktionalität zur Einstellung der Fokusgröße in einem Stahlwerk gefragt sind – KUGLER® liefert Lösungen, herstellbare Lösungen!



Laserscanner mit Zoom-Aufweiter

Nicht alles geht. Zunächst! Stahl mit Diamantschneiden in optischer Qualität bearbeiten? Der Kohlenstoff des Stahls und des Diamanten verbinden sich, die Schneide verliert ihre Form und damit ihre Funktion. Standzeit wenige Sekunden. Wir liefern den „Work-Around“: **Nickel-Phosphor-Legierungen** in einer Härte vergleichbar mit Stahl, bearbeitbar mit Diamanten, mit hervorragender optischer Qualität der Oberflächen. Auf Stahl sind Nickel-Beschichtungen von bis zu einem Millimeter Stärke möglich. Aber auch auf Beryllium, welches mit einer Nickelbeschichtung gefahrlos bearbeitet und behandelt werden kann. Für höchste Qualitätsansprüche, z.B. hinsichtlich Streulicht, verwenden wir Kupferoptiken. Und wo das nicht geht, wie z.B. im Leichtbau, da verkupfern wir einfach.

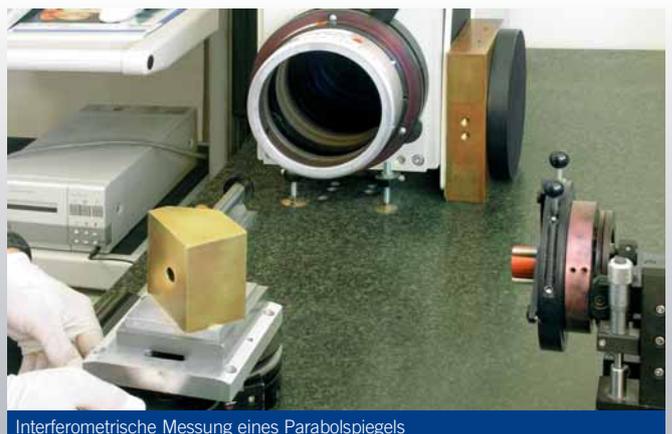
Unsere Physiker und Ingenieure finden die passenden Materialpaarungen und beraten Sie gerne!



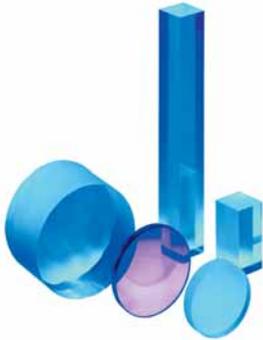
Gitter Nickel auf Stahl



Wie „erzählen“ wir unseren Bearbeitungsmaschinen, dass sie Oberflächen mit Nanometer-Auflösung herstellen sollen? Die einfachste Methode: Wir teilen der Maschine die Oberflächenkontur im Mikrometer-Abstand auf das Nanometer genau als Tabelle mit. Diese Information ist in „normalen“ CAD-Daten nicht enthalten. **Spezielle CAM-Systeme** berechnen die Daten aus den analytischen Formeln, die die Oberfläche beschreiben; denn die Standard-Asphärenformel basiert auf einfachen Kegelschnitten wie Kreis, Parabel, Ellipse oder Hyperbel. Genau wie unsere interferometrische Messung: Spezielle KUGLER® Messaufbauten erfassen die gewollten und ungewollten Abweichungen zu diesen Grundformen. Unser wissenschaftlich ausgebildetes Personal wertet die gemessenen Abweichungen aus.



Interferometrische Messung eines Parabolspiegels



Hydraulikverteiler

Manchmal soll es spiegeln, aber es ist keine Optik. Die Form muss nicht im Nanometer-Bereich toleriert sein, der visuelle Eindruck soll jedoch stimmen. Das Problem dabei ist, dass das menschliche Auge feinste Kratzer, feinste Übergänge sieht. Wir nennen dies „kosmetische Qualität“. Damit diese Qualität stimmt, werden die Werkzeuge und die Maschinen von unseren Mitarbeitern entsprechend eingestellt. Zu den Produkten, die in „kosmetischer Qualität“ gefertigt werden, gehören bunte Plexiglasflächen für die Innenausstattung von Wohnräumen, Gehäuse von hochwertigen Schreibutensilien oder sogar Aluminiumschmuck.

Hydraulikverteiler, Getriebegehäuse, Dichtflächen in Wasserkühlern – auch **technische Oberflächen** können mittels Ultrapräzisionsbearbeitung mit Diamantwerkzeugen optimal vorbereitet werden. Metallflächen mit Ebenheiten im Mikrometer-Bereich und Rauwerten von etwa 10 bis 20 Nanometern eignen sich ideal für das Kleben oder Löten, aber auch einfach als direkte metallische Dichtflächen. Entsprechende Hochleistungs-FLYCUTTER mit verstärkten Spindeln für kürzeste Zykluszeiten kommen hier gewinnbringend zum Einsatz.



Platte mit integrierter Luftzuführung

Eine Besonderheit in unserem Hause ist die Fertigung großer, ebener Aluminium-Bauteile mit innen liegender Druckluft-, Vakuum- oder Kühlwasserverteilung. Auch wenn diese Bauteile erst nach der Diamantbearbeitung endmontiert werden können, sind Ebenheiten im Mikrometerbereich bei Durchmessern größer 300 Millimeter möglich. Der Zusammenbau erfolgt unter interferometrischer Kontrolle mit großen **Prismen-Interferometern** Typ KUGLER® OFT, die die optisch ganzflächige Ebenheitsmessung auch nicht-spiegelnder Flächen erlauben. Der Monteur sieht das Interferenzmuster als Live-Bild auf dem Videomonitor, während er z.B. die Schrauben anzieht.



Interferometer-Messplatz



FLYCUTTER-Bearbeitung eines Aluminiumbauteils

KUGLER® **Luftlager** werden auf Granitbasis gebaut und im Hause auf Ebenheit gefräst. Nicht der Granit direkt. Eine fräsba-re Aufgussmasse enthält die Luftkanäle, die Vakuumaschen und sonstige, für die Funktion des Lagers erforderliche Elemente. Speziell aufgebaute FLYCUTTER stellen die Ebenheit des Ganzen her. Nutzen auch Sie diese besondere Technik! Sie ist auf viele Stoffe anwendbar, z.B. auf poröse Sinterbronzen oder auf mikro-porös geklebte Keramiksubstrate für Vakuumspannfutter oder Luftlager.

Luftgelagerte Linearführungen Typ ALU-LINE zeigen die Evolution der **Lagerfertigung** bei KUGLER®. Die aus Aluminium hergestellten Lagerflächen werden mittels spanender Bearbeitung (sowohl konventionell als auch mit Mikrobearbeitungsschritten, siehe unten) mit den erforderlichen Kanal- und Düsenstrukturen versehen und auf FLYCUTTERN auf Rechtwinkligkeit, Maß und Ebenheit endbearbeitet. Die Vorbehandlung des Aluminiums durch ausgewählte Wärmebehandlungsprozesse ermöglicht eine anschließende Hartstoffbeschichtung, die den Lagerelementen die nötigen Notlaufeigenschaften verleiht. Auch hier wissen unsere Facharbeiter, wie bei der Diamantbearbeitung „vorgehalten“ werden muss, damit das Endprodukt die erforderliche Ebenheit aufweist.

Neben Luftlagern bearbeiten wir auch kritische, für die Optikausrichtung wichtige **Gehäuseelemente** von Laserkomponenten auf KUGLER® Ultrapräzisionsmaschinen. Nur so erhalten unsere Baureihen, wie die Fokussierköpfe „LK“, die Umlenkeinheiten „UE“, die Strahlweichen „SW“ oder die Aufweitungs-teleskope „KST“ ihre bekannte Präzision!

Manche Gehäuse müssen mehr als nur stabil sein. Sie sollen beispielsweise gegen Licht abdichten oder die Erzeugung von nicht-definierten Lichtreflexen verhindern. Solche Gehäuseeinheiten finden Anwendung in der Sicherheitstechnik oder in der Spektroskopie. Für die Bearbeitung der in der Regel ebenen Bauteile bietet sich das FLYCUTTEN mit Diamantwerkzeugen an. Das **Diamantfräsen** liefert hervorragenden Glanz und Ebenheit der Oberfläche und erreicht mühelos Toleranzen, die einen einfachen Zusammenbau und die zusätzlich gewünschten lichttechnischen Eigenschaften ermöglichen. Darüber hinaus bieten die diamantbearbeiteten Oberflächen eine ideale Grundlage für eine optisch anspruchsvolle, gleichmäßige Oberflächenbeschichtung, z.B. durch Hartanodisieren!

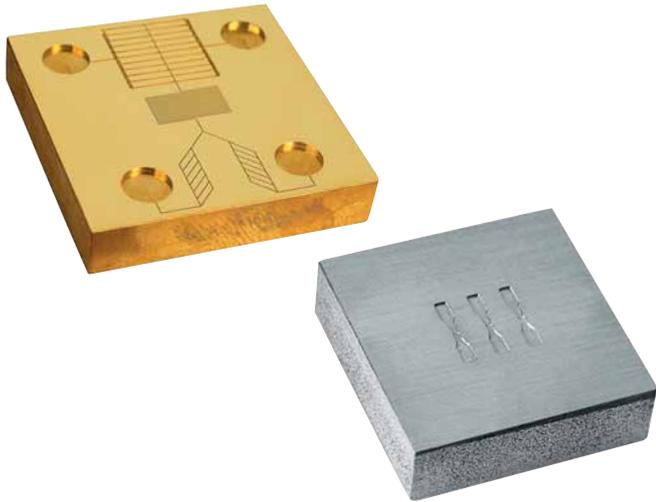


Fräsen eines Vakuum-Spannfutters



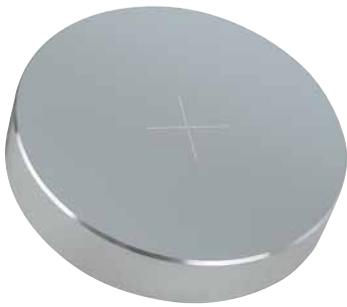
Messen und Bearbeiten einer Laserkomponente



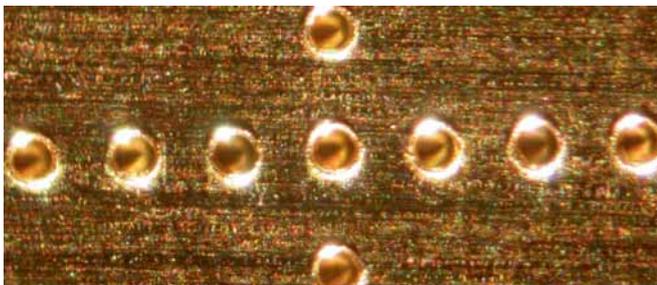


Geringste Rauheit, optische Qualität auf kleinen Flächen. Slicer-Spiegel, die Licht auf verschiedene Kanäle, z.B. eines Infrarot-Spektrometers, verteilen: Dies sind Bauteile, die die Fertigungsmöglichkeiten unserer luftgelagerten Mikrobearbeitungsmaschinen und die erzeugbaren **optischen Eigenschaften** voll ausnutzen.

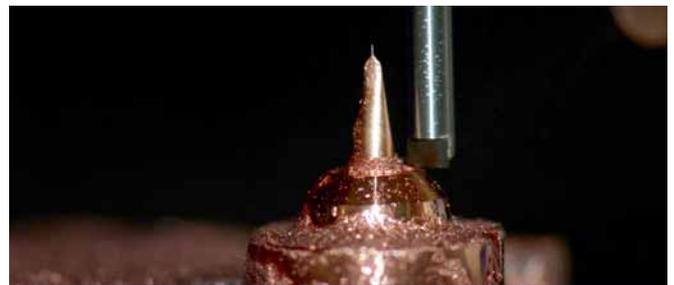
Werkzeugeinsätze für Spritzgussformen aus **harten Materialien** wie Nickel-Phosphor, Abformmaster aus Messing: Auch solche Bauteile weisen oft kleine Strukturen auf, die mit üblichen FLYCUTTERN oder Diamantdrehmaschinen nicht bearbeitet werden können. Die MICROGANTRY® mit ihren luftgelagerten Achsen schafft das!



Fadenkreuze, Referenzmarken auf spiegelnden Metalloberflächen. Unsere Mikrobearbeitungsmaschinen ermöglichen sowohl das Fräsen von optischen Flächen als auch das Anbringen der erforderlichen **Referenzmarken** auf einer Maschine – ohne Umspannen des Werkstücks, ohne Genauigkeitsverlust. Die integrierten Messsensoren garantieren die passgenaue Lage.



Bohrungs-Array (Bearbeitungsvorstufe)



Mikro-Nadel



Präzisionsbohrungen mit **scharfen Kanten**: Scharf im Mikrometerbereich, ohne Gratbildung. Durchmesser unter 200 µm – ideal für kleine Luftlager. Das geht mit den KUGLER® Mehrachsbearbeitungszentren Typ MICROGANTRY® vollautomatisch.



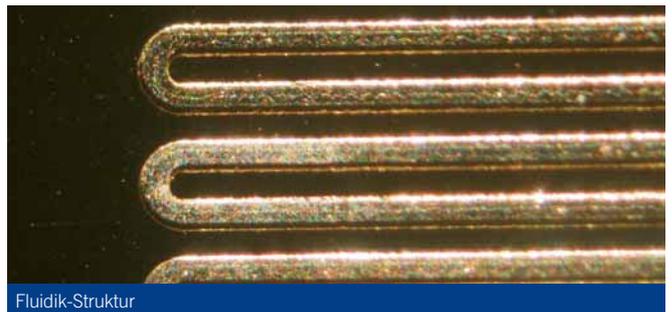
Wie erreichen wir Rauwerte im Nanometerbereich, ohne auf die konventionellen Diamantbearbeitungsverfahren zurückgreifen zu müssen? Mit ausgewählten Hochfrequenzspindeln, mit diamantbestückten Schaftwerkzeugen und mit den Hauptbestandteilen der Bewegungsachsen unserer Mikrobearbeitungsmaschinen – den luftgelagerten KUGLER® **Linearführungen** Typ ALU-LINE und GRANU-LINE und ihrer bewährten Laufruhe.

Bohrungsraster mit festen, definierten Positionen zueinander – und diese Positionen stimmen auf den Mikrometer genau! Ideal z.B. für die Abbildungsnormale in der Video-Messtechnik, genutzt für die Kalibrierung der Bildfeldverzeichnung eines Messobjektivs.



Lochraster für Messzwecke

Neben Bohrungen in präzisen Abständen müssen auch kleine Strukturen, wie z.B. Kanäle, in **Mikrofluidiksystemen** genau definierte Tiefen, Breiten und Positionen im Mikrometerbereich haben. Für die Erzeugung solcher Strukturen mit Mikrometer-Genauigkeit verwenden wir Schafffräser mit Durchmessern bis herab zu 60 µm.

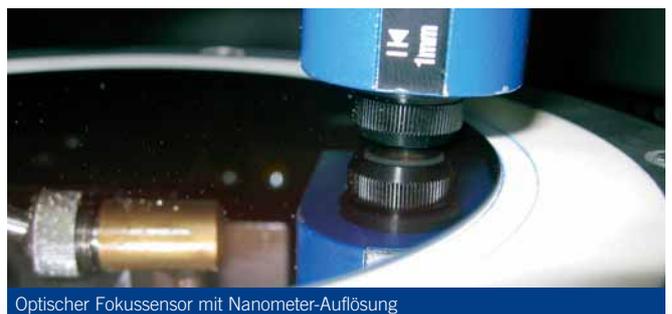


Fluidik-Struktur

Die ruhigen Achsabläufe unserer MICROGANTRY® machen es möglich: Wände mit einer Wandstärke von wenigen 10 Mikrometern und gleichzeitig Höhen von mehr als einem Millimeter. Solche „**hauchdünnen**“ **Strukturen** werden beispielsweise in der Mikromechanik benötigt.



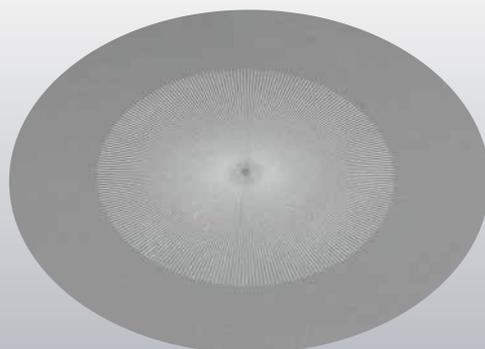
Taktile Taster, optisch berührungslos messende Fokussensoren mit Nanometer-Auflösung, chromatische Aberrationssensoren: Unsere Software ist flexibel und gestattet es, die jeweils erforderlichen **Sensoren** zur Prozessführung und Überwachung direkt auf der Bearbeitungsmaschine zu integrieren, im hier gezeigten Beispiel für das mikrometeregenaue Abfräsen einer Oberflächenschicht auf einem nicht ganz ebenen Werkstück. Der Sensor ermittelt die Lage der Oberfläche, die präzisen Maschinenachsen stellen das Fräswerkzeug nach.



Optischer Fokussensor mit Nanometer-Auflösung

Laserbearbeitung:

Manchmal ist Licht besser! Statt mit einem Fräser oder Bohrer rüsten wir unsere Mikrobearbeitungsmaschine MICROGANTRY® mit einem Kurzpuls laser aus. Strukturen mit Tiefen im Bereich von Submikrometern bis einigen hundert Mikrometern können auch in schwierigen, nicht zerspanbaren Materialien durch Laserablation mit Mikrometer-Genauigkeit realisiert werden.





Kanalstruktur



Kanalstruktur, Detail

Kanäle mit schrägen oder gar abgerundeten Kanalwänden: Ein einfach in das Metall eingetauchtes Miniaturfräs Werkzeug reicht hier nicht mehr aus. In solchen Anwendungen kommen Frässtrategien zum Einsatz, bei denen das Werkzeug mit zunehmender Zustellung im richtigen Winkel angestellt wird, um möglichst glatte Oberflächen mit geringer Rauheit zu erzielen. Laufzeiten von mehreren Stunden, kontrollierter Wechsel von Werkzeugen, die automatisch eingemessen werden müssen – all das erledigen unsere erfahrenen Ingenieure mit Unterstützung einer modernen, den KUGLER® Mikrobearbeitungsmaschinen angepassten **CAM-Software**.

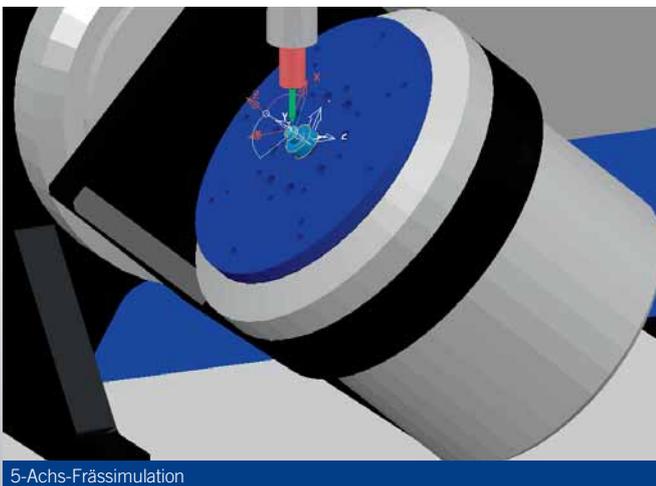


Turbinenrad, Ausschnitt

Eine kleine Fluidikturbine, die aus Vollmaterial (hier aus Messing) herausgearbeitet wird. Die Mikrostrukturen selbst sind nicht so tief oder komplex, sie liegen jedoch auf einer echt dreidimensionalen Oberfläche. Die Herausforderung an die Maschinen bilden hier große Achswege – in allen fünf Achsen. Die hohe Präzision auch dieser Bauteile ist nur durch eine regelmäßige Überprüfung der **Achsgeometrien** der Maschine auf Lage und Rechtwinkligkeit sowie eine automatische Kompensation der Restfehler möglich.



Molybdän – ein komplexes Bauteil aus einem schwer zerspanbaren Material. Der Rohling wird auf einer konventionellen Drehmaschine vorbearbeitet und anschließend auf der Mikrobearbeitungsmaschine eingespannt. Um einen möglichst geringen und vor allem gleichmäßigen Materialabtrag zu erzielen, wird das Werkstück auf der Maschine vermessen und immer wieder neu justiert – vor, während und nach der Fünf-Achs-Bearbeitung auf der MICROGANTRY®. Zum Einsatz kommt dieses komplexe Bauteil in einem Forschungsatelliten.



5-Achs-Frässimulation

Bei der 3D-Bearbeitung kommt es auf die richtige **Prozesskette** an: Vom Modell des Bauteils zur Simulation des Zerspanprozesses, von der Integration einer geeigneten Messstrategie über das Aufspannen und das Einmessen des Bauteils und der Werkzeuge bis hin zur Bearbeitung und Endvermessung. Die kleinen Werkzeuge mit ihrem verhältnismäßig langen Schaft sind elastisch und geben nach. Der Mikrozerspanprozess liefert andere Oberflächen als das konventionelle Zerspanen. Unsere Ingenieure berücksichtigen all diese Faktoren bei der Prozessplanung, erfahrene Facharbeiter setzen die Prozesse auf der Maschine um. Nur so sind die Toleranzen im Mikrometerbereich, die unsere Fertigungsbeispiele standardmäßig erfordern, zuverlässig und wirtschaftlich realisierbar.

Mikrobearbeitung und Ultrapräzisions-Diamantdrehen:

Elektroden in Teilchenbeschleunigern sind so hohen elektrischen Feldern ausgesetzt, dass jede Störung der Oberfläche, jeder Kratzer, jeder Grat einen Funkenüberschlag verursachen würde – mit dem Aus für ein ganzes Projekt. Deshalb werden die Stellen einer Elektrode, die den kritischsten Feldern ausgesetzt sind, in optischer Qualität diamantgedreht. Der „Rest“, wie z.B. die zentrale Bohrung mit elliptischer Einlaufkontur für den Teilchenstrahl, wird anschließend mit geringer Rauheit auf einer Mikrobearbeitungsmaschine gefertigt. Die integrierte Messtechnik der Maschine ermöglicht passgenaue Übergänge ohne störende Absatz- oder Gratbildung.



Elektrode für Teilchenbeschleuniger

Metallspiegel mit einer präzisen Aussparung für Messstrahlen, scharfkantig, unter einem definierten Winkel – Optiken, wie sie in modernen Laseranlagen oder in Beschleunigern benötigt werden. In unserem Hause werden solche Bauteile auch als **Einzelstücke** mit höchster Genauigkeit aus Kupfer oder Aluminiumwerkstoffen gefertigt.



Ein Verschluss- oder Haltemechanismus als komplexe Mikrobearbeitungsgeometrie und gleichzeitig Spiegelflächen zur präzisen, optisch berührungslosen Winkel- und Positionserfassung: Auch solche Komponenten stellen wir in unserem Hause her. Ob es sich dabei um Testmassen für Experimente in Schwerelosigkeit handelt oder „nur“ um Baugruppenträger für Messgeräte – mit unseren Mikrobearbeitungsmaschinen MICROGANTRY® lösen wir die Herausforderungen echter **3D-Mikrokonturen**; mit unseren Diamant-Dreh- und Fräsmaschinen produzieren wir dazu passgenau die Optik. Damit können wir unseren Kunden immer eine kostengünstige Lösung anbieten!



Herstellung einer Präzisionskomponente

Serienweise Scheiben mit zentrischer Bohrung: So etwas können wir auch! Die **rationelle Fertigung** nicht nur einer, sondern hunderter fast identischer Kupferscheiben mit einer zentralen Bohrung mit diamantbearbeiteten, abgerundeten Blendenkanten. Fast identisch! Auch dies ist ein Fall für eine typische Kombinationsbearbeitung mit konventionellen Maschinen, Mikrobearbeitungsmaschinen und dem Diamantdrehen. Dahinter stehen optimierte Bearbeitungsprogramme, die das „Fast“, also die Unterschiede der einzelnen Bauteile, exakt berücksichtigen. Eine Herausforderung, die unsere Ingenieure und Physiker erfolgreich meistern!



Oberflächenstruktur einer Kupferelektrode

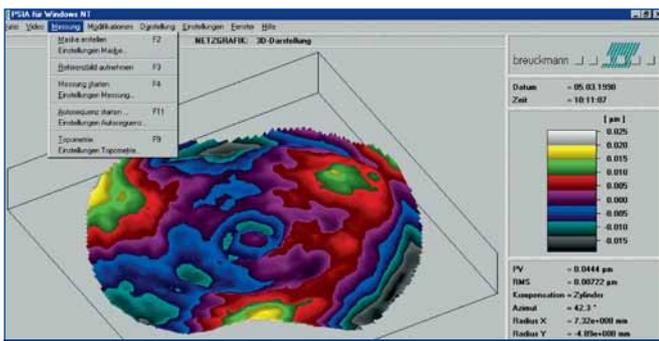


Pyramidalwinkelmessung



Polygonmontage

Von der Montage unserer Metallspiegel auf Trägerplatten, natürlich präzise ausgerichtet und justiert, bis hin zum Zusammenbau kompletter motorischer Fokussierköpfe – all das erledigen unsere geschulten Mitarbeiter, stets unter Berücksichtigung unserer **Qualitätsvorgaben**. Das Einhalten von Montagevorschriften und von kundenseitig vorgegebenen Prozessschritten sowie eine montagebegleitende Maßkontrolle sichern den Erfolg. Dabei hilft, dass kritische Bauteile bereits von der Konstruktionsseite her mit Referenzflächen ausgestattet sind, die beispielsweise eine einfache messtechnische Überprüfung der Montage erlauben.



Interferometrischer Systemtest

Auswuchten, Parametrisieren der Antriebsregler, Messen der Gesamt-Winkelfehler – wichtige Stationen bei der Montage unserer **Scanner**. Winkelgenauigkeiten am Endprodukt im Bereich weniger Bogensekunden erfordern einen gewissen Aufwand. Aufgrund der langjährigen Erfahrung unserer Monteure ist dieser Aufwand jedoch äußerst wirtschaftlich umsetzbar. Darüber hinaus werden unsere Scanner je nach Typ in dedizierten Messständen interferometrisch auf ihre Einsatzqualifikation hin getestet.



Rohteil-Vermessung



Endkontrolle

Eine in den letzten Jahren erfolgreich ausgearbeitete KUGLER® Spezialität: Kleine Zylinderluftlager, mit integrierten magnetischen Antrieben und Messsystemen sowie Kühl- und Luftversorgungsstrukturen. Alleine schon das Diamantdrehen der Lagerkomponenten, die nur wenige Millimeter im Durchmesser betragen und oft sehr dünnwandig sind, beruht auf der Entwicklung geeigneter Techniken. Die teilweise unter einem **Mikroskop** unter endoskopischer Beobachtung ablaufende Montage oder die Klebearbeiten mit Mikrodispensern erfordern Fähigkeiten der Mitarbeiter, die weit über die klassischen Tätigkeiten der Metalloptikfertigung hinausgehen. Unsere Facharbeiter können das! Und unser Einkauf organisiert die oft nur in kleinen Stückzahlen benötigten Einzelteile von kompetenten Partnern – zu fairen Preisen!



Sauberkeit steht an erster Stelle! Kritische Komponenten montieren wir im Reinraum. Dies können Bauteile für die Halbleiterindustrie sein oder Optik-Elemente, die z.B. beschichtet werden sollen. Baugruppen für Satelliten oder Optikeinheiten für wissenschaftliche Geräte benötigen ebenfalls unser besonderes Augenmerk. Und dennoch vernachlässigen wir, was Sauberkeit betrifft, auch nicht die einfachen Standardkomponenten – ganz gleich, ob es sich dabei um Optiken, Präzisionskomponenten oder mikrostrukturierte Bauteile handelt.

Rückführbar **kalibrierte Messgeräte** in allen Genauigkeitsklassen – von der einfachen Schieblehre bis zum Mikrointerferometer mit Subnanometer-Auflösung: Unser Prüfmittelüberwachungssystem sorgt für regelmäßige Kontrollen der Messgeräte entweder im Haus oder durch externe Prüflabors. Unser Messgerätepark wird ständig erweitert, um den Anforderungen moderner Produktprüfungen jederzeit gerecht zu werden.



Messraum mit 12"-Fizeau-Interferometer

Was jetzt noch nicht Standard ist, wird dazu entwickelt! Durch aktive Mitarbeit in **Forschungsprojekten** zu industrieller Messtechnik tragen wir zur Förderung und Verbreitung neuer Messstrategien vor allem im Bereich der Mikrobearbeitung bei.



Mikrobearbeitung mit neuer Software KNC²

TRAINING – SERVICE – ENTWICKLUNG

KUGLER® – das sind in erster Linie die **Menschen hinter den Produkten**. Die Mischung aus frisch motivierten jungen Mitarbeitern und langjährig erfahrenen Know-How-Trägern, die Zusammenarbeit zwischen den Facharbeitern in der Fertigung und den Ingenieuren und Physikern im Entwicklungs- und Projektmanagementbereich – das führt am Ende zu den wirtschaftlichen, pragmatischen und dennoch technisch herausragenden Lösungen, für die KUGLER® seit mehr als 25 Jahren ein fester Begriff ist.

Unsere Produkte verlassen in einem geprüften Zustand unser Werk. Sollten beim Kunden unerwartete Probleme auftreten, kommen, falls erforderlich, unsere **Service-Techniker** oder sogar unsere Entwickler an den Einsatzort der KUGLER® Optikkomponenten!

Dieser Prospekt vermittelt lediglich einen kleinen **Überblick** über die KUGLER® Mikrobearbeitung und Optik. Für detaillierte Informationen zu den Standardprodukten stehen ausführliche Datenblätter, Produktgruppenübersichten sowie Bemaßungsblätter zur Verfügung, die teilweise auf den Internetseiten www.kugler-precision.com bereitgestellt werden oder direkt bei KUGLER® angefordert werden können.



Besprechung am realen Werkstück



KUGLER GMBH

Heiligenberger Str. 100 · 88682 Salem · GERMANY
Fon: +49 7553 9200-0 · Fax: +49 7553 9200-45
info@kugler-precision.com · www.kugler-precision.com