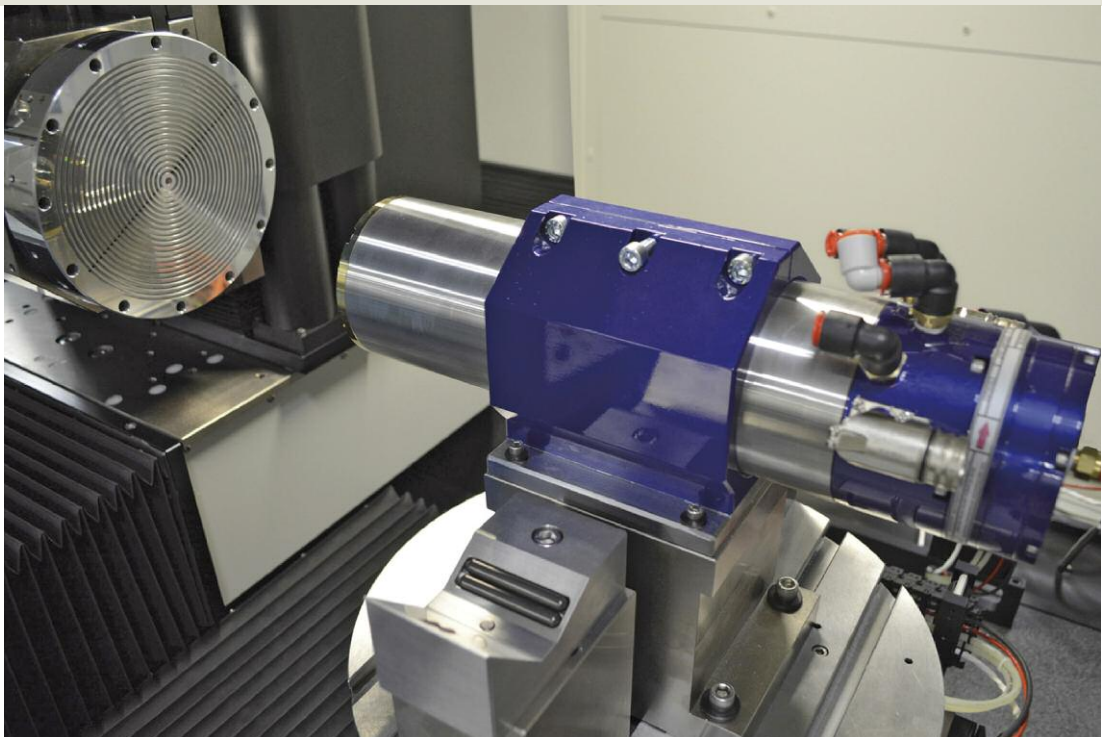


# Ultrapräzisions- und CNC-Bearbeitung fusionieren

Im Spannungsfeld zwischen aufwendiger Ultrapräzisionsbearbeitung und automatisierter CNC-Zerspanung suchen Maschinenhersteller und Anwender nach neuen Wegen zu rationellen Prozessen: Die Implementierung **AEROSTATISCH** gelagerter Spindeln dient dabei als Brücke zwischen den bisher gegensätzlichen Welten.

**Bild 1. Ultrapräzise Bearbeitungsmaschine von Precitech mit aerostatisch gelagerter Frässpindel von Levicron**



## RALF DUPONT UND JAN ENGMANN

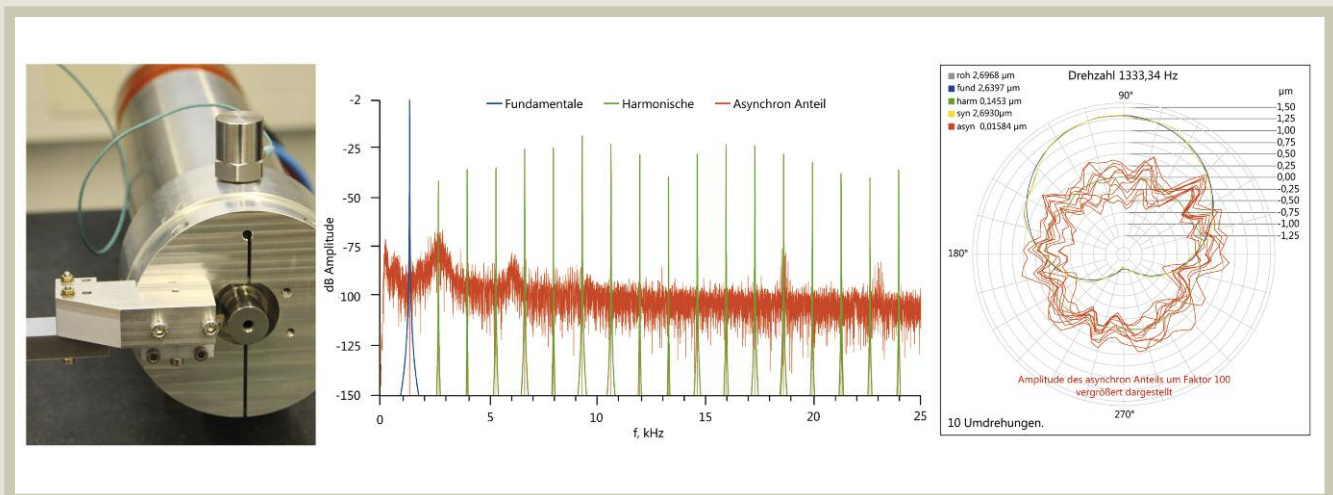
Ultrapräzise Zerspanung – also Hochpräzisionszerspanung mit optischer Oberflächengüte – ist geprägt von langen Maschinenhaupt- und -nebenzeiten. Das Einrichten und Auswuchten eines Fräswerkzeugs kann beispielsweise bis zu einem Tag dauern. Durch spezialisierte, meist luftgelagerte Werkzeugsysteme sowie kleine Werkzeuge sind Maschinenhauptzeiten von Stunden bis Tagen oder gar Wochen keine Seltenheit. Das Resultat der Ultrapräzisionszerspanung sind Bauteile mit Sub- $\mu\text{m}$ -Genauigkeit und einer Oberflächenrauheit von zum Teil  $R_a < 1 \text{ nm}$ .

Betrachtet man nun Trends aus der Standard-CNC-Bearbeitung und der Ultrapräzisionszerspanung, so sind deutliche Anstrengungen einer Annäherung zu erkennen. Unter Beibehaltung ihrer Vielseitigkeit und Produktivität versuchen Standard-CNC-Maschi-

nen mit Maschinenelementen der ultrapräzisen Zerspanung, beispielsweise hydrostatischen Führungen oder aerostatisch gelagerten Spindeln, optische Oberflächenqualitäten zu erzielen. Hingegen versuchen Hersteller ultrapräziser Maschinen verstärkt, Steuerungsmerkmale und Automatisierungsmechanismen, beispielsweise automatische Werkzeugwechsler, zu ihrem Maschinenportfolio hinzuzufügen, um so die Funktionalität sowie die Produktivität zu steigern.

## > KONTAKT

HERSTELLER  
**Levicron GmbH**  
 67661 Kaiserslautern  
 Tel. +49 6301 66800-0  
[info@levicron.com](mailto:info@levicron.com)  
[www.levicron.com](http://www.levicron.com)



Die Schnittmenge bilden Schlüsseltechnologien aus beiden Gebieten wie hydrostatische Führungen oder Werkzeugwechselsysteme, wobei eine bis vor Kurzem noch fehlte: aerostatisch gelagerte, ultrapräzise Werkzeugspindeln mit industriellen Merkmalen wie einem automatischen Kegelspannsystem, einer Spannzustandsüberwachung oder einer hochintegrierten Flüssigkeitskühlung (Bild 1).

### Werkzeugschnittstelle für neue Fertigungsdimensionen

Bisherige Spindellösungen in der Ultrapräzisionszerspannung beschränkten sich auf das Wesentliche – eine genaue Rotation. Die Werkzeugschnittstelle sowie Automatisierungs- und Sicherheitsmechanismen wurden dem Kunden überlassen und von diesem generell auf ein Minimum reduziert beziehungsweise oft gar ignoriert.

Es mag banal klingen, bisherige aerostatische Spindellösungen mit einer automatischen Werkzeugschnittstelle zu erweitern, um daraus eine Werkzeug-

spindel für den CNC-Betrieb zu machen. Die Rotordynamik und die daraus resultierende Genauigkeit der Werkzeugschnittstelle an sich machen jedoch schon bei der Berechnung und Auslegung deutlich, dass hier neue Lösungen mit einem detaillierten und sehr strukturierten Engineering sowie vollkommen neue Fertigungstechniken notwendig sind, um der Funktionalität einer modernen Werkzeugspindel wie auch den Genauigkeiten der ultrapräzisen Zerspaltung gerecht zu werden.

Kennwerte wie Asynchronfehler der Wellenbewegung von unter 30 nm, dynamische Rundläufe am Werkzeug von unter 1 µm und Schwingschnellen am Spindelgehäuse von weniger als 0,5 mm/s über den gesamten Drehzahlbereich sowie Wiederhol-Aufspannengenauigkeiten von unter 0,3 µm machen offenkundig, dass hier nicht nur die Auslegung und Konstruktion, sondern auch die Bauteilfertigung eine zentrale Rolle spielt (Tabelle 1).

Mit der aerostatischen Werkzeugspindel ›ASD-H25/Cx‹, die um ein neues Lagersystem herum ent-

**Bild 2. Error-Motion-Messung und -Auswertung: Error-Motion 18 nm**



## Perfektes Finish von Oberflächen

Mikromechanik und Elektronik: mit unserer Technologie **polieren** und **entgraten** sie Klein- und Kleinstteile aus unterschiedlichen Materialien. Schnell und rationell.

[www.mikrogleitschleifen.de](http://www.mikrogleitschleifen.de)

**AMB**  
Halle 8 / B 33

**MAW**  
Werkzeugmaschinen

Mechanische Prüfung	Prüfkriterium	Ergebnis
Rundlauf Spankegel [Z]	< 100 nm	40 nm
Planlauf Spannaufgabe [Y]	< 100 nm	30 nm
Werkzeugwiederholauflaufspanngenauigkeit	< 0,5 µm	0,3 µm
HSK-Einzugskraft (bei 3 bar)	2500 - 5000 N	4900 N
Werkzeugspannung, 1000 Wechsel	2000 Wechsel	OK

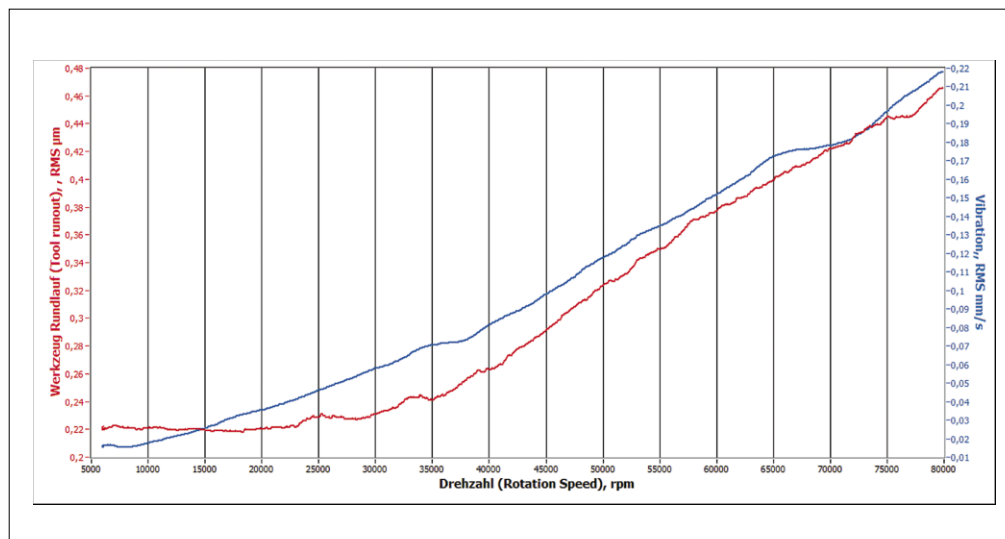
Dynamische Prüfung	Prüfkriterium	Ergebnis
Schwingschnelle vorne [A] (warm/kalt)	< 0,5 mm/s	0,32 mm/s
Schwingschnelle hinten [B] (warm/kalt)	< 0,7 mm/s	0,5 mm/s
Error-Motion bei Nenndrehzahl	< 30 nm	18 nm

Tabelle 1. Ausgesuchte Testgegenstände und Prüfergebnisse

wickelt wurde, hat Levicron aus Kaiserslautern all dies erstmals konsequent umgesetzt (Bild 2). Levicron bietet mit seinen Werkzeugspindeln ultrapräzise Lösungen mit allen Merkmalen einer modernen Werkzeugspindel für die CNC-Zerspanung. In Bezug auf die Funktion ändert sich für den Hersteller von CNC-Bearbeitungszentren praktisch nichts.

Für die Ultrapräzisionszerspanung hingegen eröffnet dieser Spindeltyp den Herstellern erstmals die Möglichkeit, Sicherheitsmerkmale wie die Spannzustandsüberwachung zu integrieren. Des Weiteren haben sie die Option, ihre Maschinen mit automatisierten Werkzeugbeladesystemen auszustatten und einen enormen Schritt in Richtung einer voll automatisierten Fertigung zu gehen. So wird beispielsweise mit den Levicron-Motorspindeln bei Ametek Precitech Inc. in den USA – Marktführer auf dem Gebiet der Ultrapräzisionsmaschinen – gerade zum ersten Mal ein automatischer Werkzeugwechsler auf einer Ultrapräzisionsmaschine integriert. »Eine neue Fertigungsdimension bei Ultrapräzisionsmaschinen«, so beschreibt Keith Kowalski, VP & Business Unit Manager von Ametek Precitech, die Investition.

Bild 3. Dynamischer Rundlauf am Werkzeug und Schwingschnellen mit Spindeldrehzahl



### Höhere Drehzahlen und thermische Stabilität

Während bei wälzgelagerten Lösungen der Lagerkäfig sowie die Relativbewegungen der Wälzkörper hier klare Drehzahlgrenzen – insbesondere im Dauerbetrieb – setzen, können luftgelagerte Spindeln an die Fliehkräftfestigkeit der rotierenden Bauteile ausgelegt werden und erlauben somit deutlich höhere Drehzahlen. Die Werkzeugspindel ASD-H25 von Levicron wird mit einer automatischen HSK-E25-Schnittstelle und Drehzahlen bis 100 000 min<sup>-1</sup> angeboten, was circa dem Doppelten ihres äquivalenten wälzgelagerten Pendants entspricht. Insbesondere für kleine Werkzeuge kann die Produktivität hiermit deutlich gesteigert werden. Das Fehlen von Lagerkäfigen und Wälzkörpern ermöglicht zudem die Begrenzung von Beschleunigungsrampen einzig durch den erlaubten Motor-Maximalstrom und führt zu Rampenzeiten von 60 000 min<sup>-1</sup>/s für Werkzeugspindeln von Levicron. Span-zu-Span-Zeiten von vier Sekunden, ausgehend von einer Drehzahl von 80 000 min<sup>-1</sup>, sind machbar.

Doch selbst bei ihrer Maximaldrehzahl besitzen wälzgelagerte Spindelssysteme nur begrenzte S1-Zeiten, da sich die tribologischen Verhältnisse innerhalb der Lager verändern und eine Drehzahlreduzierung für einen Fettverteilungslauf notwendig machen, einhergehend mit den entsprechenden thermischen Änderungen innerhalb der Spindel und der Maschine. Gasgelagerte Spindeln besitzen jedoch keinerlei Verschleiß und erlauben einen unbegrenzten Dauerbetrieb bei Höchstdrehzahlen – dies bei absolut konstanten thermischen Verhältnissen. Anwendungen über Stunden, Tage oder Wochen

Bilder: Levicron

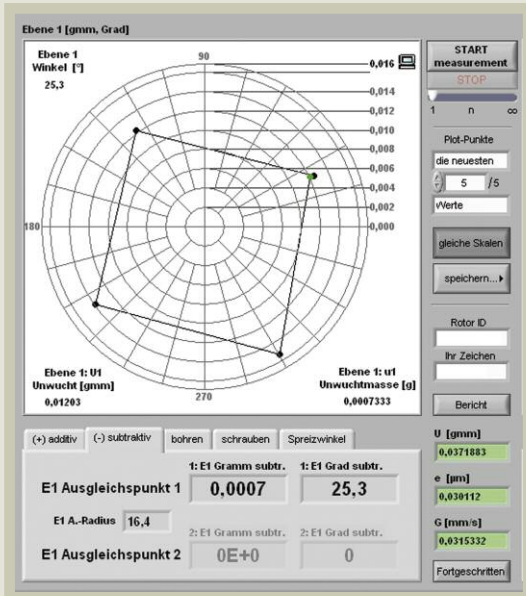


Bild 4. Nachweis der Aufspannwiederholgenauigkeit durch Unwuchtmessung mit orientiertem Halter unter 0°, 90°, 180° und 270°

bei Höchstdrehzahl sind problemlos möglich. Weiterhin ist mit geschickter Konstruktion der axiale Wärmegang der Welle nur wenige µm groß, der radiale bei symmetrischer Konstruktion sogar weit unter 0,3 µm (Bilder 3 bis 5).

Die Verschleißfreiheit macht eine Wartung von luftgelagerten Motorspindeln generell überflüssig. Der modulare Kartusenaufbau der Levicron-Spindeln bietet dennoch eine einmalige Servicefreundlichkeit für diesen Fall, der sogar unter einer Stunde vom Kunden selbst auf der Maschine erfolgen kann (Bild 6).

### Verschmelzung von CNC und UP

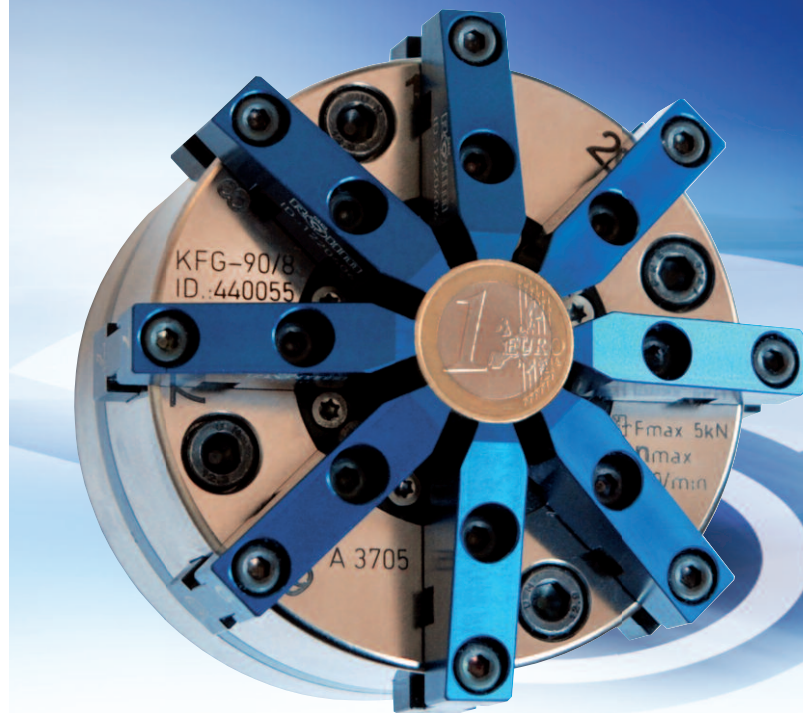
Erhöhte Anforderungen an Genauigkeit und Oberflächengüte, lange Bearbeitungszeiten sowie kleine Werkzeuge prägen die typischen Fräs- und Schleifanwendungen mit aerostatisch gelagerten Werkzeugspindeln und erschließen Zielmärkte wie

- Miniaturbauteile aus der Uhren- und Schmuckindustrie,
- Metall- und Glasdirektoptiken,
- Indirektoptiken (Formenbau) und Münzprägestempel,
- Beugungsgitter und Mikrostrukturen.

Die sich ergebende Verschmelzung von Hochpräzisions-CNC- und Ultrapräzisionsbearbeitung (Hybridmaschine) wird momentan von spezifischen Interimsmärkten getrieben, generiert aber umgekehrt neue Möglichkeiten und Werk-

## MICRO TECHNOLOGY

Kleinste Tools für größte Präzision.

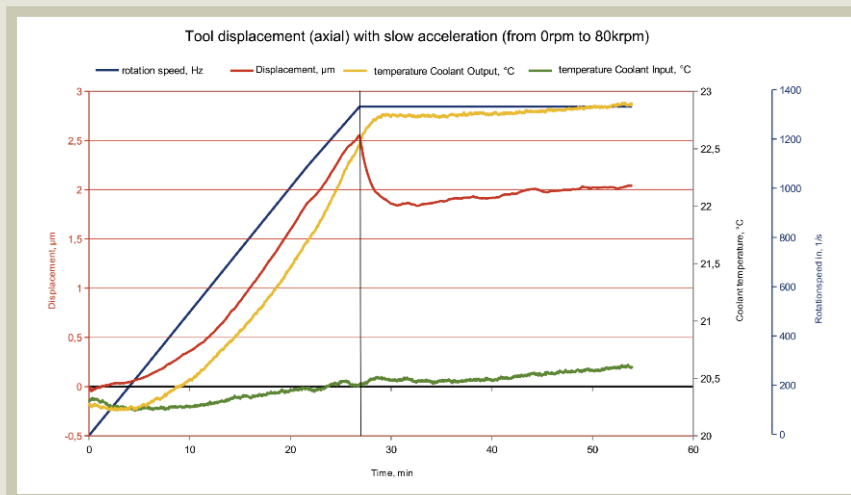


- ⊕ Fliehkraftkompensation für deformationsfreies Spannen
- ⊕ Hohe Rund- und Planlaufgenauigkeit
- ⊕ Besonders großer Spannbereich

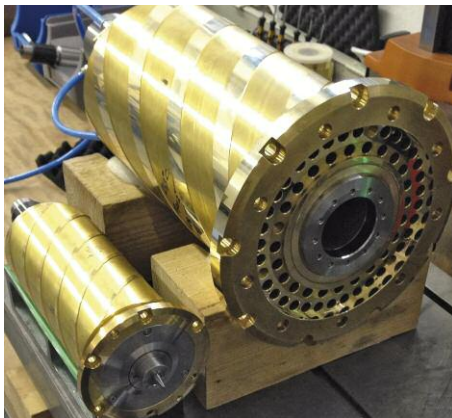
**RÖHM**  
driven by technology

Das KFG-MT 90/8 High-tech Kraftspannfutter eignet sich hervorragend für die Bearbeitung empfindlicher Werkstücke dank Fliehkraftkompensation. Speziell zum feinfühligem und deformationsfreien Spannen von Werkstücken in der Medizintechnik. Auch erhältlich als 2-, 3-, 4- oder 6- Backen-Ausführung.

**AMB**  
Halle 1, Stand 112



**Bild 5. Axiales Wellenwachstum mit Drehzahl**



**Bild 6. Kartuschenlösungen von Levicron**

zeuge für Ingenieure und Fertigungsleiter. Betreffende Märkte werden von gesteigerter Präzision und Produktivität profitieren und im Zuge der voranschreitenden Miniaturisierung von Bauteilen rasch wachsen (**Bild 7**). Ein gutes Beispiel dafür ist die Schweizer Uhrenindustrie, die im Zuge eines Generationenwechsels anstelle der manuellen Bearbeitung immer stärker auf die CNC-

Bearbeitung setzt. Da kleine Bauteile mit besonderer Präzision sowie überragenden Oberflächengüten für ein attraktives Äußeres gefragt sind, bieten CNC-UP-Hybridmaschinen hier ein großes Potenzial. Darüber hinaus werden Kernkomponenten von Maschinen wie Führungen, Antriebe, Spindeln und Steuerungen

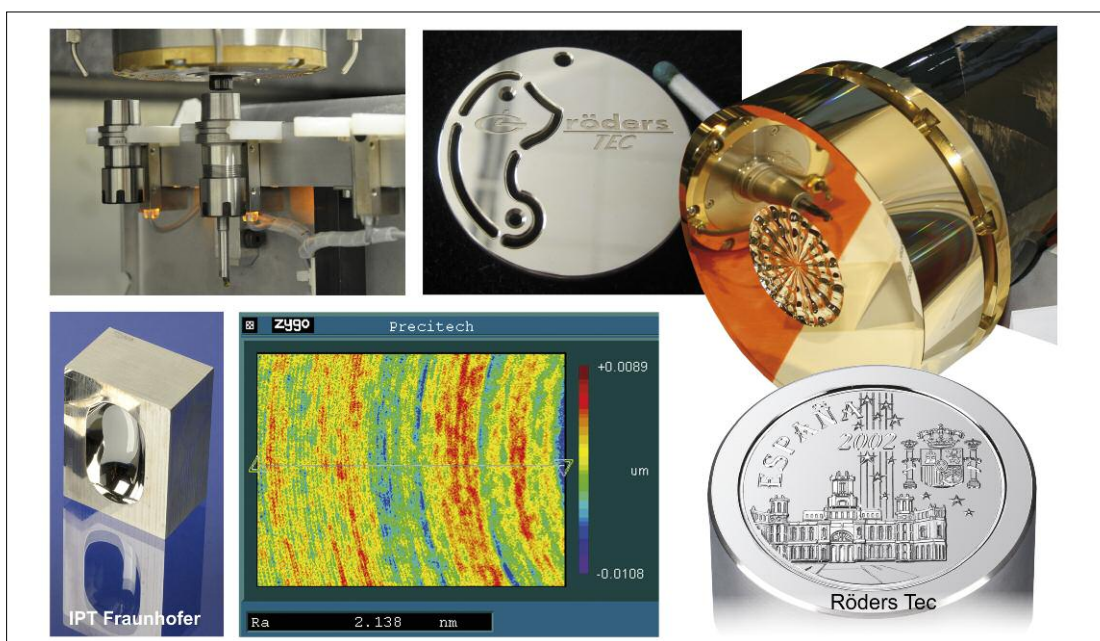
in Zukunft wahrscheinlich in hohem Maße ähnlicher beziehungsweise vereinheitlicht. Für eine intakte Konkurrenzfähigkeit bedeutet dies jedoch auch, dass Hochpräzisions-CNC-Maschinen genauer und Ultra-Präzisionsmaschinen günstiger werden müssen. Insbesondere für ultrapräzise Bearbeitungsmaschinen kann mit Automatisierungsmechanismen ein enormes Potenzial für den Schritt in Richtung einer voll automatisierten und produktiveren Bauteilbearbeitung vorausgesagt werden. Levicron ist für diese Zukunft gerüstet und plant aerostatisch sowie hydrostatisch gelagerte Maschinenkomponenten für eine gemeinsame Zukunft von CNC- und UP-Bearbeitung. ■

MI110311

**AUTOREN**

Dr. RALF DUPONT ist Gesellschafter und Geschäftsführer von Levicron in Kaiserslautern; r.dupont@levicron.com  
 Dr. JAN ENGMANN ist Leiter Technik im selben Unternehmen; j.engmann@levicron.com

**Bild 7. Kundenanwendungen und -bauteile: Werkzeugwechsler in einer UP-Maschine, Prägestempel und spiegelnde Oberflächen**



Bilder: Levicron