
Piezobasierte Zusatzaktorik für hybride Bearbeitungsprozesse

André Bucht, Kenny Pagel, Hans-Jürgen Roscher, Holger Kunze, Welf-Guntram Drossel

2. Fachtagung "Sensitive Fertigungstechnik", 07. November 2013, Magdeburg



Piezobasierte Zusatzaktorik für hybride Bearbeitungsprozesse

Gliederung

- 1 Einleitung und Motivation**
- 2 Schwingungsüberlagerte Bearbeitung
- 3 Achsüberlagerte Bearbeitung
- 4 Zusammenfassung

Einleitung

Das Fraunhofer IWU

- Gegründet am 1. Juli 1991
- Ca. 450 Mitarbeiter
- Budget: 30 Mio. €
- Leitthema:
Ressourceneffiziente Produktion
- 4 Standorte:

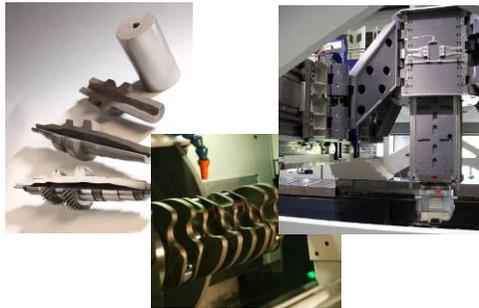


Stammsitz in Chemnitz



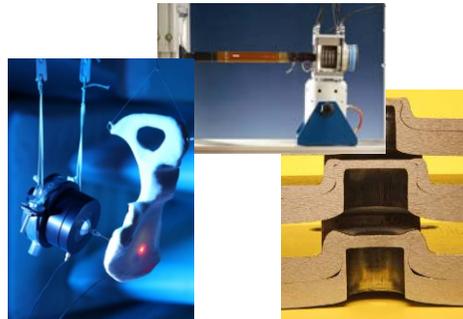
Chemnitz (Stammsitz)

- Werkzeugmaschinen
- Umformtechnik
- Zerspanung



Dresden (seit 2001)

- Adaptronik
- Fügetechnik
- Medizintechnik



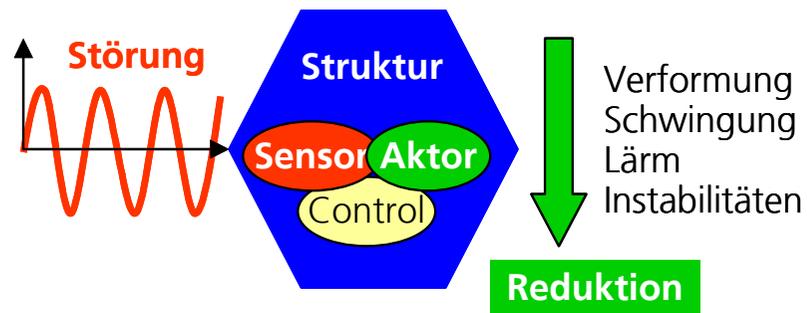
Augsburg (seit 2009)

Zittau (seit 2011)



Einleitung

Abteilung Adaptronik und Akustik



- automatisches Anpassen der Struktureigenschaften an veränderliche Umgebungsbedingungen
- Verschmelzen von Mechanik, Sensorik und Aktorik auf Werkstoffebene



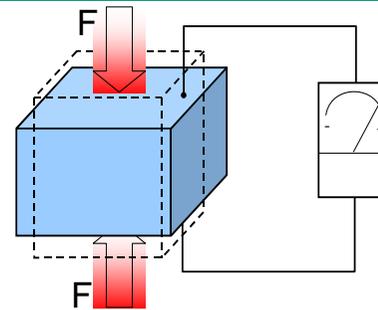
Einleitung

Piezokeramik

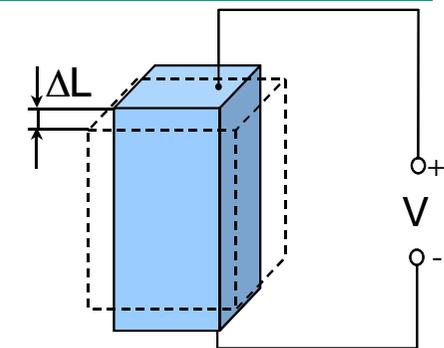
Mechanismus:

- Deformation der Dipole im Kristall bewirkt eine Ladungstrennung → elektrische Spannung

- Dehnung maximal 0,2%
- Blockierkraft maximal 100 N/mm²
- Ansteuerfrequenz >100kHz



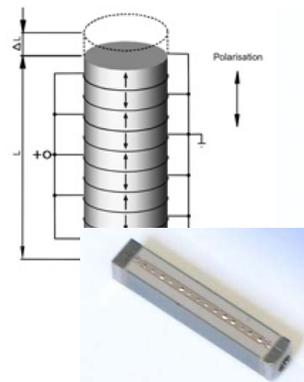
(a) Direkter Effekt
Anwendung Sensor oder Feuerzeug



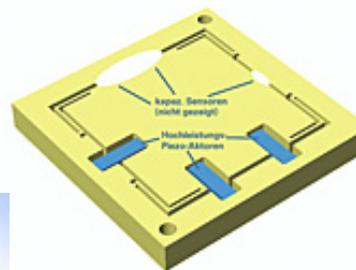
(b) indirekter Effekt
Anwendung Aktor



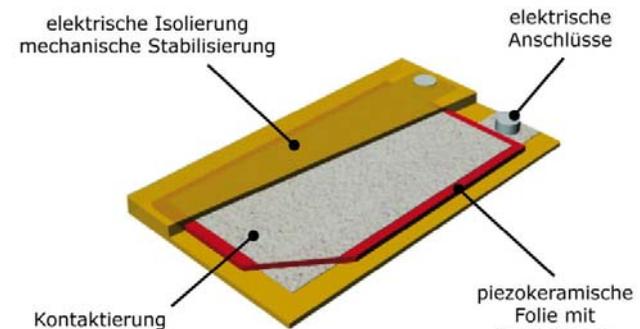
Fuel-Injektor



Stack



Feinst-positioniersystem



Patch-Aktor

Einleitung

Motivation

Herausforderungen in der Fertigungstechnik

- Einsatz neuer Werkstoffe
 - CFK, Titan → Leichtbau
- Reibungsminimierung
 - Mikrostrukturierungen, Beschichtungen
- Erhöhung der Produktivität
 - Bearbeitungsgeschwindigkeit
 - Zerspanvolumen
- Erhöhung der Flexibilität
 - Losgröße, Variantenanzahl, Entwicklungszeiten

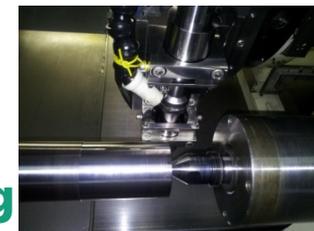
Produktgestaltung

Prozessgestaltung

Aktorische Zusatzsysteme zur



Achsüberlagerung



Schwingungsüberlagerung

Einleitung

Schwingungs- vs. Achsüberlagerung

	Schwingungs- überlagerung	Achsüberlagerung
	Einbringen von Schwingungen mit definierter Frequenz, Amplitude und Schwingungsrichtung (longitudinal, transversal)	Einbringen von Schwingungen mit definierter Frequenz, Amplitude und Phasenlage
Frequenz	18 - 40 kHz	<1000 Hz
Amplitude	Einige 10 µm	Einige 100 µm
Ziel	Bessere Prozesseigenschaften <ul style="list-style-type: none"> • Spanbruch • Tribologie • Prozesskraft 	Mehr Funktionalität <ul style="list-style-type: none"> • Freiere Produktgestaltung • Prozesskettenverkürzung
Steuerungseinbindung	meist autonom	Ankopplung an Maschinensteuerung meist notwendig

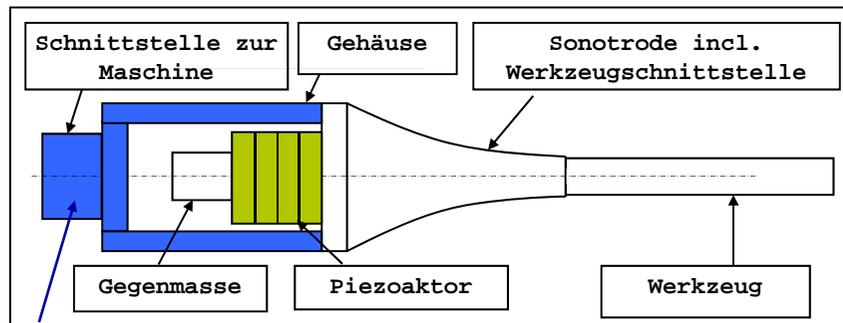
Piezobasierte Zusatzaktuatorik für hybride Bearbeitungsprozesse

Gliederung

- 1 Einleitung und Motivation
- 2 Schwingungsüberlagerte Bearbeitung**
- 3 Achsüberlagerte Bearbeitung
- 4 Zusammenfassung

Schwingungsüberlagerte Bearbeitung Tieflochbohren

- Entwicklung einer **schwingungs- und beanspruchungsgerechten Resonator konstruktion**



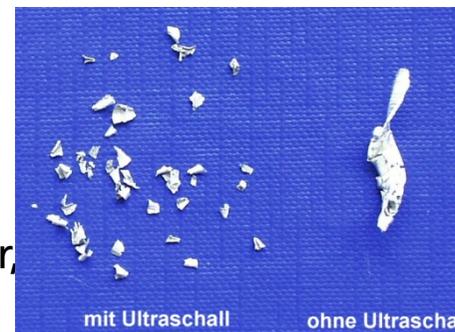
ruhende
Baugruppe



Versuchsmaschine

Ergebnisse MMS

- Stabiler Prozess bei MMS**
- Verbesserte Werkzeugstandzeiten** gegenüber Nassbearbeitung
(v_f 111 mm/min, f 0,02 mm/U)
- Werkstückqualität** (u.a. Durchmesser, Rz, Randzonen-Aufhärtungen etc.)
im **geforderten Toleranzband**



Tieflochbohren von Aluminium

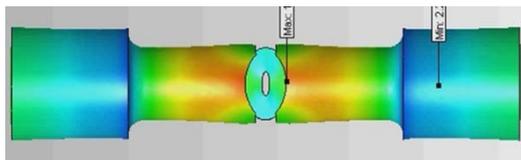
Prototyp

Schwingungsüberlagerte Bearbeitung

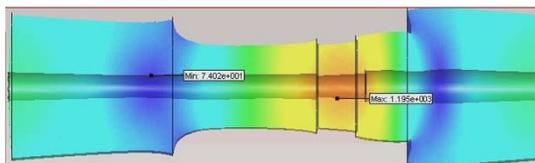
Ultraschall-unterstütztes Drahtziehen

Hochleistungs-Ultraschall-Quelle

- Amplitude 25 μm
- Frequenz 19,4 kHz
- Umlenkung in Ziehrichtung durch Kreuzkoppler



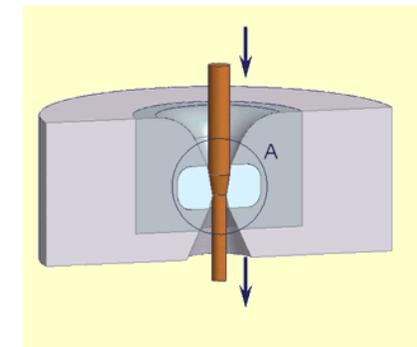
Quereregte Ziehdüse



Längserregte Ziehdüse



Versuchsaufbau



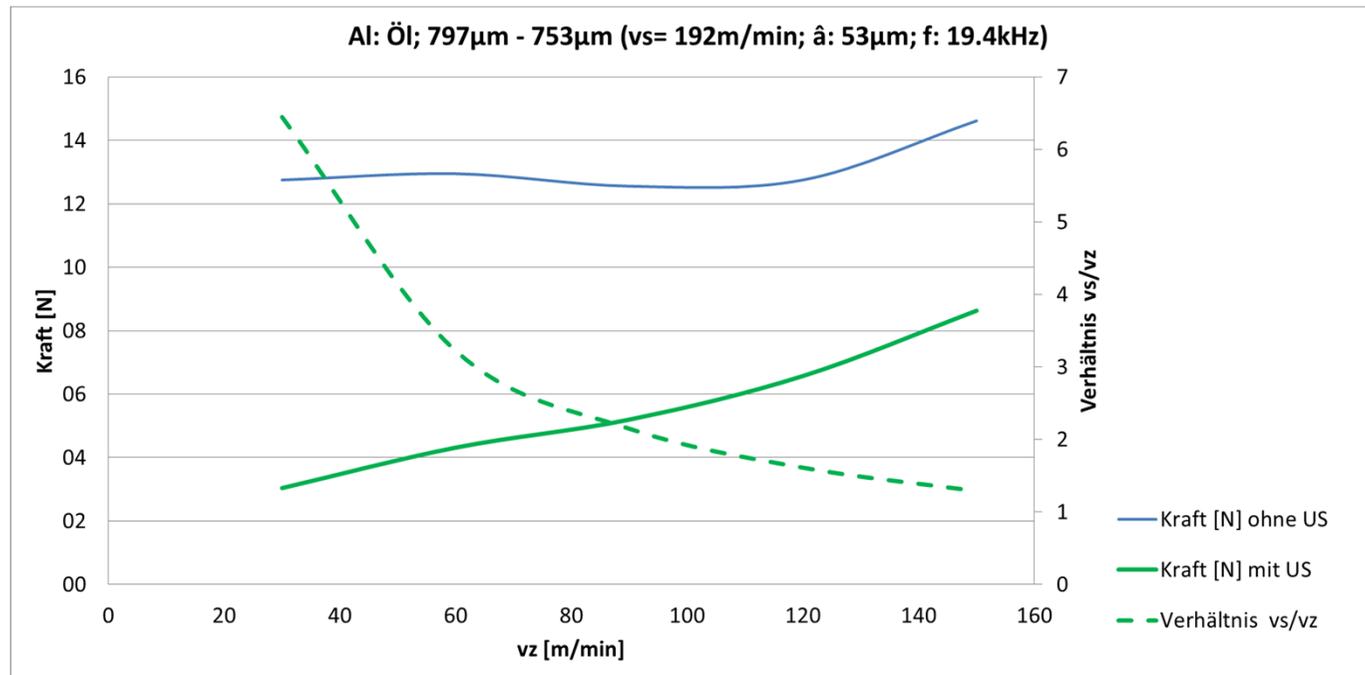
Drahtziehprozess



Schwingungsüberlagerte Bearbeitung

Ultraschall-unterstütztes Drahtziehen

Prozessergebnisse



- Reduzierte Zugkraft
- Höhere Zugeschwindigkeiten
- Größere Flächenreduktion → weniger Ziehstufen
- Reduzierte Schmiermittelbedarf

Piezobasierte Zusatzaktorik für hybride Bearbeitungsprozesse

Gliederung

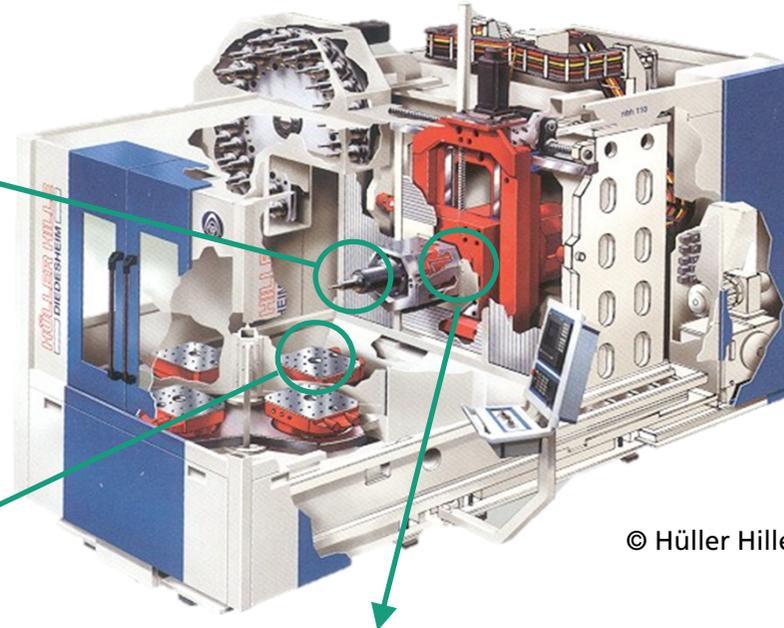
- 1 Einleitung und Motivation
- 2 Schwingungsüberlagerte Bearbeitung
- 3 Achsüberlagerte Bearbeitung**
- 4 Zusammenfassung

Achsüberlagerte Bearbeitung

Integrationsorte

Aktive Werkzeuge

- + Wirknähe
- + geringe Trägheit
- + preiswert (kein Maschineninvest)
- Prozessumgebung
- Energieübertragung
- Bauraum
- Flexibilität



© Hüller Hille

Aktiver Tisch

- + Flexibilität
- + Bauraum
- + Prozessbedingungen
- Trägheit werkstückabhängig

Aktive Spindel

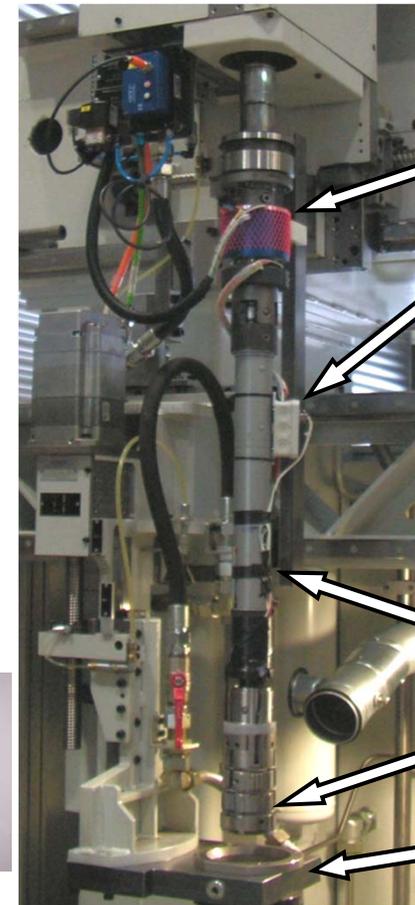
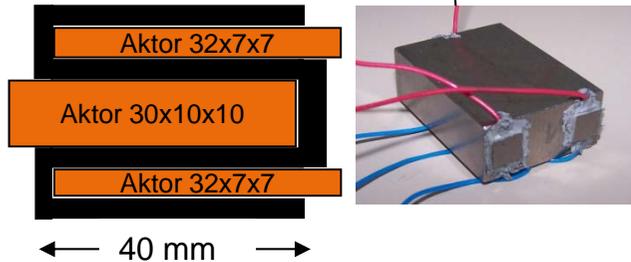
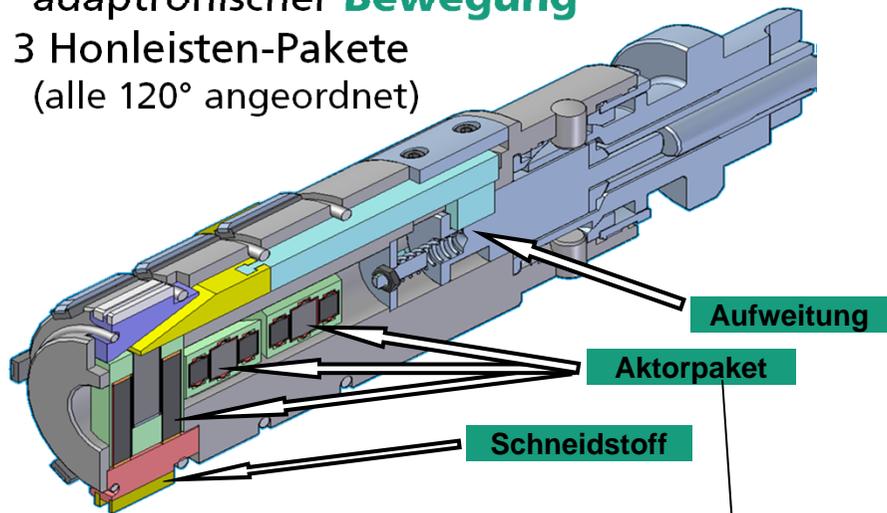
- + Flexibilität
- + Bauraum
- + Prozessbedingungen
- Investitionskosten
- Trägheit

Achsüberlagerte Bearbeitung

Werkzeugintegrierte Aktorik

Aktives Honwerkzeug

- **Überlagerung** von konventioneller und adaptronischer **Bewegung**
- 3 Honleisten-Pakete (alle 120° angeordnet)



Versuchsstand: Varihone VS8-60

Magdeburg, 07.11.2013

Achsüberlagerte Bearbeitung

Werkzeugintegrierte Aktorik

Zylinderform-Abweichungen

- Beeinflussung des **tribologischen System** (Kolben-Kolbenring-Laufbuchse)
 - bis zu 50 % der Gesamtreibung
 - 70 % - 80 % des Ölverbrauchs

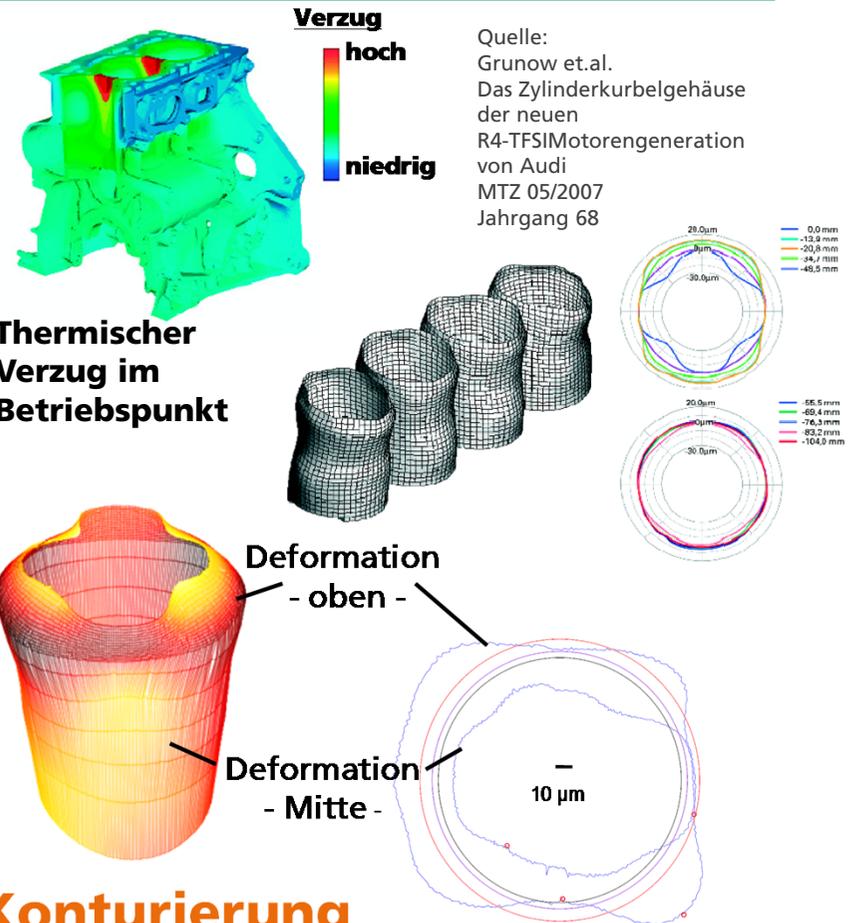
→ **Unvollständige Abdichtung** der Brennkammer (Blow By, erhöhte CO₂-Emissionen)

Abweichungsursachen

- Montage
- Temperaturunterschiede im Betrieb
- Thermische Ausdehnung
- Gasdruck

Zielstellung

Minimierung der **Zylinderformabweichung** im Betrieb → durch **Inverse Konturierung**

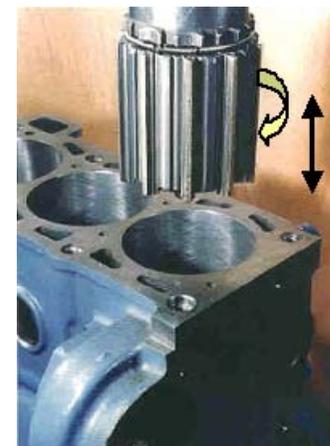


Achsüberlagerte Bearbeitung

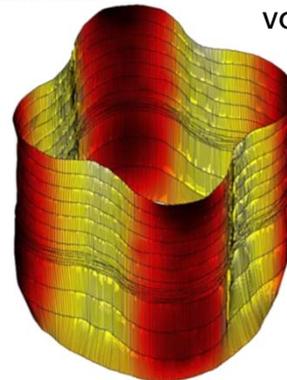
Adaptronisches Formhonen

Effekte

- Hohes, spezifisches **Zeitspanvolumen**
 $Q_w^` 5...10 \text{ mm}^3*/\text{mm}^{2**}/\text{min}$
 (*Materialabtrag, **Honleistenfläche)
- **Formgenauigkeiten** < +/- 2 μm
- maximale, **gezielt eingestellte**
Durchmesseränderung
 $\approx 70 \mu\text{m}$



IST-Kontur



Abweichung vom Zylinder



SOLL-Kontur:

Kleeblatt mit 25 μm radialer Ausformung

Referenzkontur-
definition
(Simulation, Messung)

Prozessauslegung
(n Teilschritte)

Aktuatorauslenkung
 $s = f(\text{Position, Drehwinkel})$

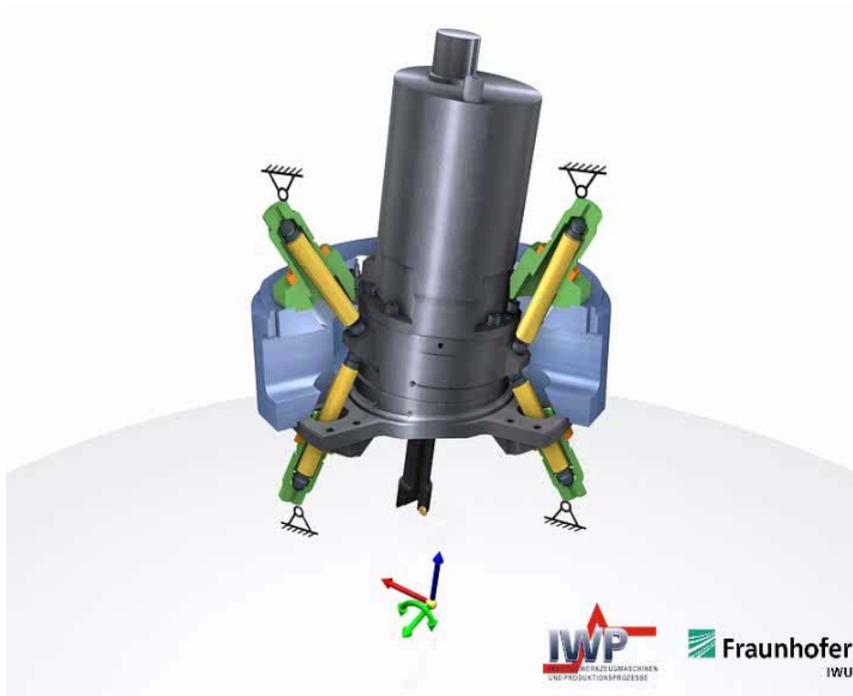
Bearbeitungs-
überwachung
(Soll-Ist-Vergleich)

Achsüberlagerte Bearbeitung

Maschinengebunde Aktorik - Spindel

Aktive Spindelhalterung - Labordemonstrator

- Sechs Piezoaktoren → fünf Freiheitsgrade
- Kapazitives Messsystem



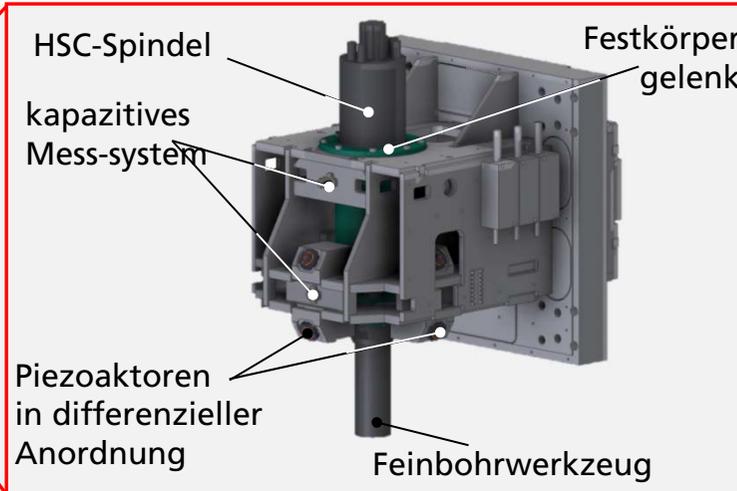
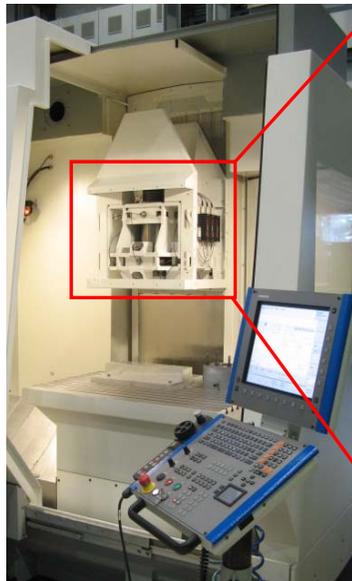
- Verschiebung in x,y-Richtung: $\pm 50 \mu\text{m}$
- Verschiebung in z-Richtung: $\pm 61 \mu\text{m}$
- Kippung: $0,76 \text{ mrad}$
- Kraft bei WZL 150 mm: 1,2 kN
- Bandbreite: 250 Hz

Achsüberlagerte Bearbeitung

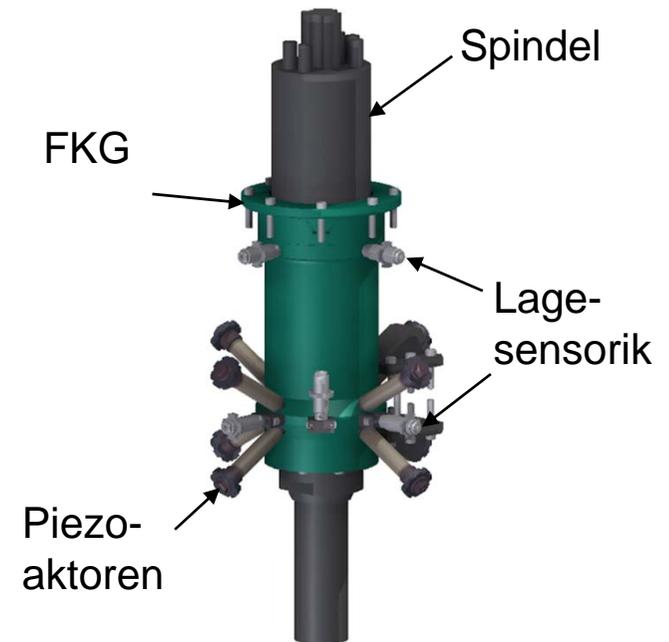
Maschinengebunde Aktorik - Spindel

Aktive Spindelhalterung - Prototyp

- Acht Piezoaktoren → zwei Freiheitsgrade
- Kapazitives Messsystem



Bearbeitungszentrum VCP 1000 mit adaptiver Spindelhalterung der 2. Gen.



Magdeburg, 07.11.2013

Achsüberlagerte Bearbeitung

Maschinengebunde Aktorik - Spindel

Prozessergebnisse - Konturierung

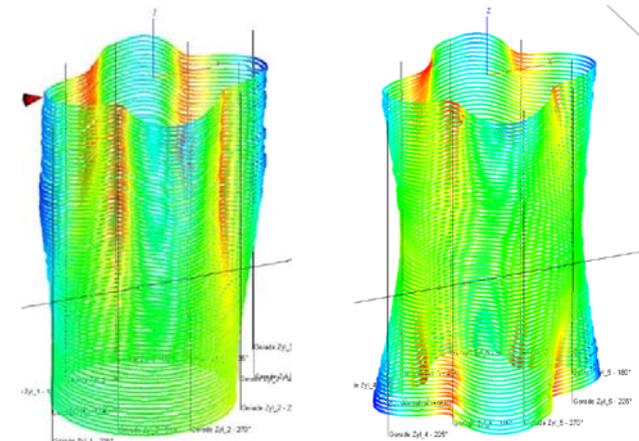
- Kleeblattkonor ($\pm 60 \mu\text{m}$) bei 6000/min
- Beliebige Übergänge/Hinterschneidungen
- Abweichung zur vorgegeben Kontor $<5\mu\text{m}$
- Gute Wiederholgenauigkeit
- $R_z < 2 \mu\text{m}$

Prozessergebnisse - Strukturierung

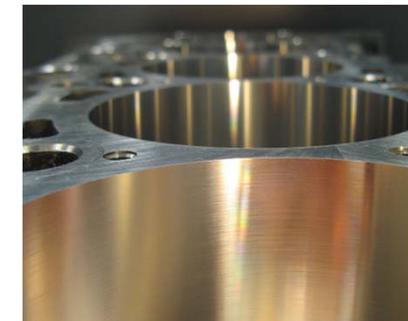


Strukturierte Oberfläche

- Bandbegrenztes Rauschen



Geometrieübergänge



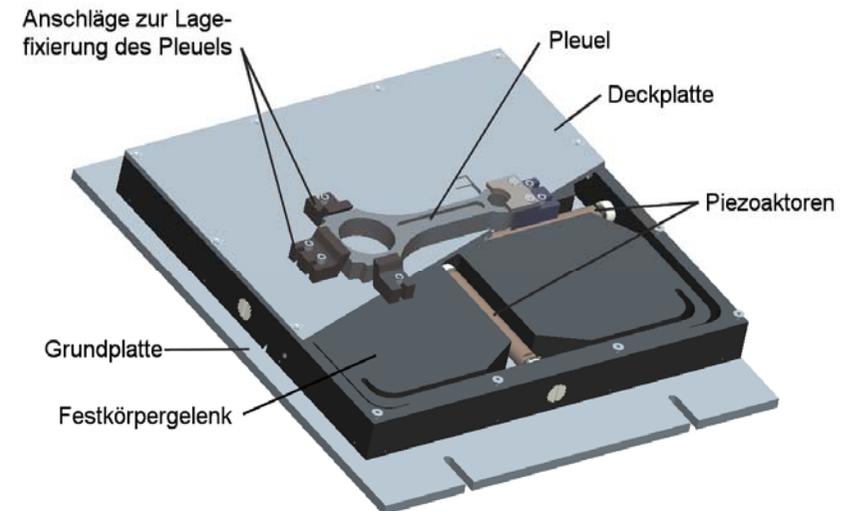
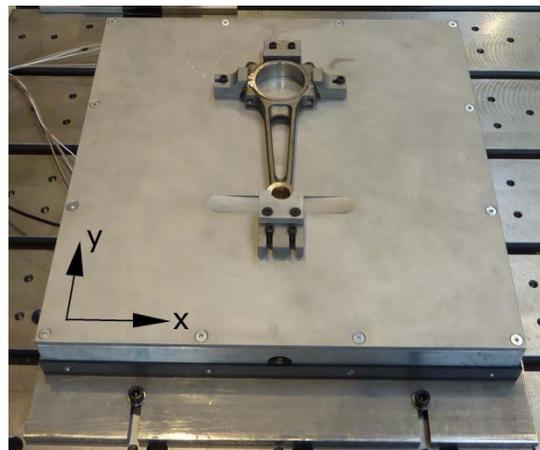
Oberflächenqualität

Achsüberlagerte Bearbeitung

Maschinengebunde Aktorik - Tisch

Aktiver Kreuztisch

- Vier differentiell angeordnete Piezoaktoren
- Zwei Freiheitsgrade mit $\pm 50\mu\text{m}$ Stellweg
- Erste Eigenresonanz bei ca. 500Hz
- Entwicklung Regelungskonzept derzeit in Arbeit
- Prozessuntersuchungen ausstehend



CAD-Zeichnung des Kreuztisches

Labordemonstrator

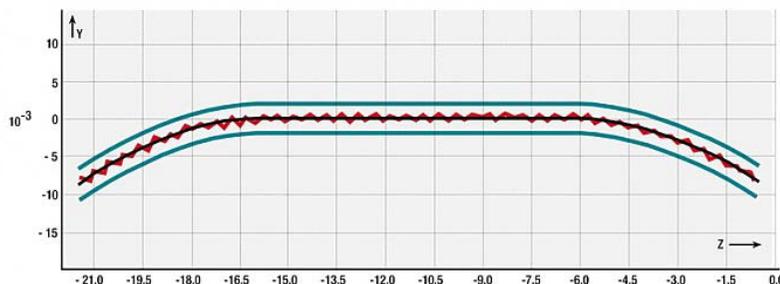
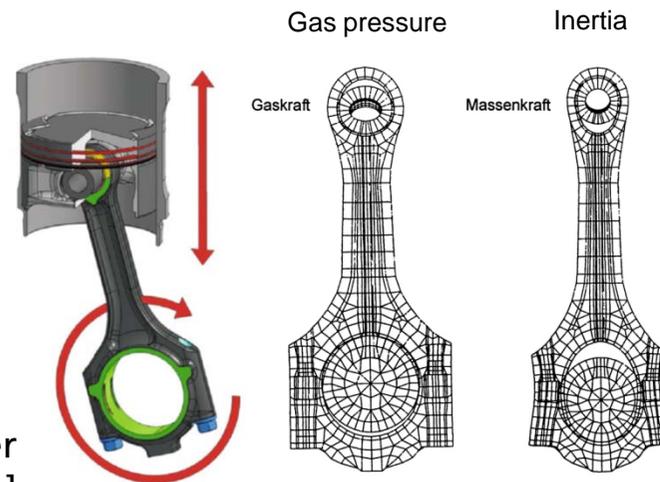
Achsüberlagerte Bearbeitung

Maschinengebunde Aktorik - Spindel

Aktiver Kreuztisch - Einsatzzweck

- Unrundbearbeitung kleiner Werkstücke
- Beispiel Pleuel
 - Ausgleich der betriebsbedingten Deformationen bereits bei der Fertigung
 - Axialkontour für bessere Kraftverteilung

Verformung der Pleuelaugen im Betrieb [Esslinger]



Axialkontour [Esslinger]



Statischer Verzug [Esslinger]

Piezobasierte Zusatzaktorik für hybride Bearbeitungsprozesse

Gliederung

- 1 Einleitung und Motivation
- 2 Schwingungsüberlagerte Bearbeitung
- 3 Achsüberlagerte Bearbeitung
- 4 **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

Piezobasierte Zusatzsysteme bieten viel Potential für

- die Entwicklung effizienter und produktiver **Fertigungsverfahren**
- größere Freiheiten in der **Produktgestaltung**

Zukünftige Arbeiten

- Einbindung in die Maschinensteuerung
- Durchgängige Entwicklungskette
- Industrietaugliche Komponenten
- Reduktion der Kosten
- Technologie
- Prozesskettengestaltung



Geplantes ZIM-Kooperationsnetzwerk **PiesaSpan**

- Förderung durch BMWi geplant
- Ziele:
 - Gemeinsame Weiterentwicklung von Technik und Technologie
 - Gemeinsames Marketing

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

André Bucht

Abteilung Adaptronik und Akustik

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik

Tel: 0351 – 4772 2344

E-Mail: Andre.Bucht@iwu.fraunhofer.de