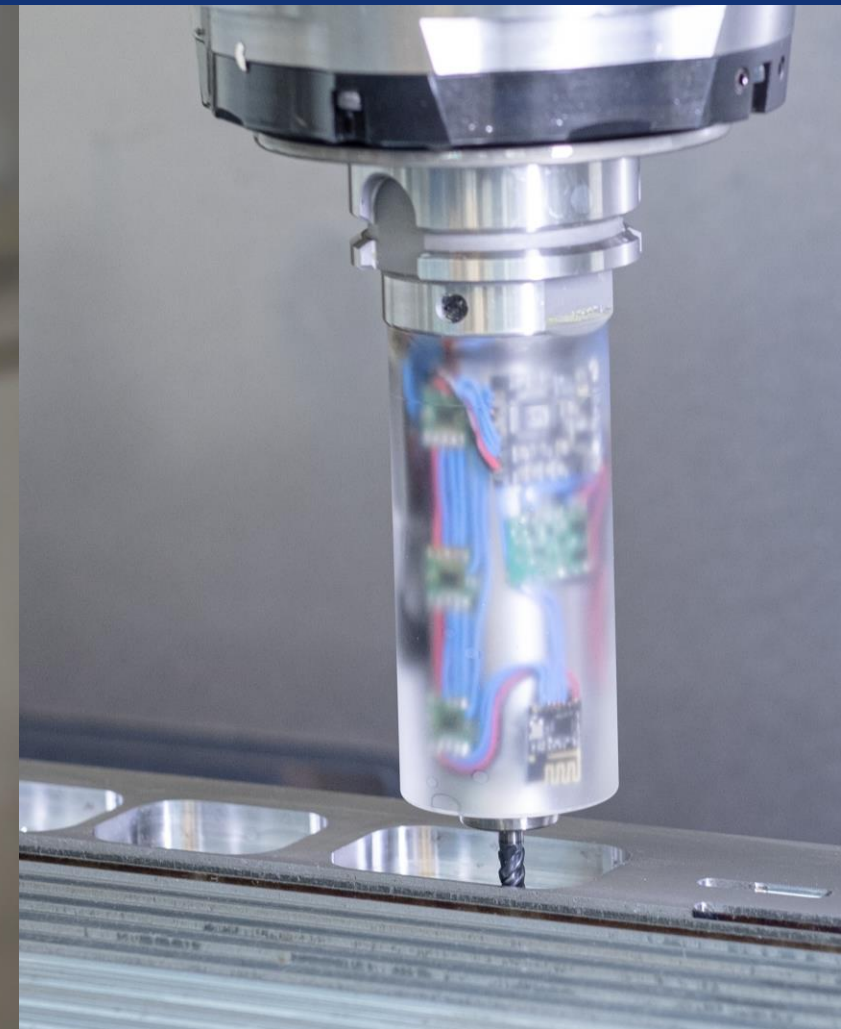
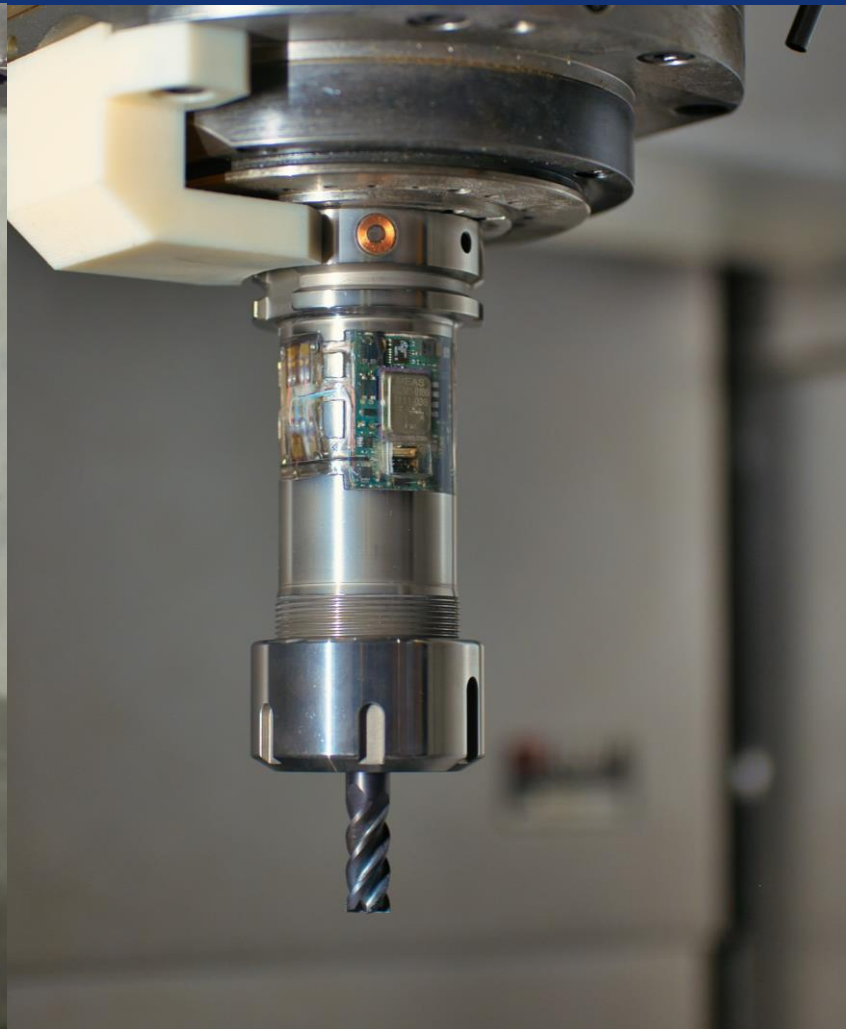


Werkzeug- und spannmittelintegrierte Sensorik zur in-situ Überwachung spanender Fertigungsverfahren

Dipl.-Ing. Martin Ettrichrätz, Dr.-Ing. Joachim Regel, Dipl.-Ing. Hendrik Rentzsch

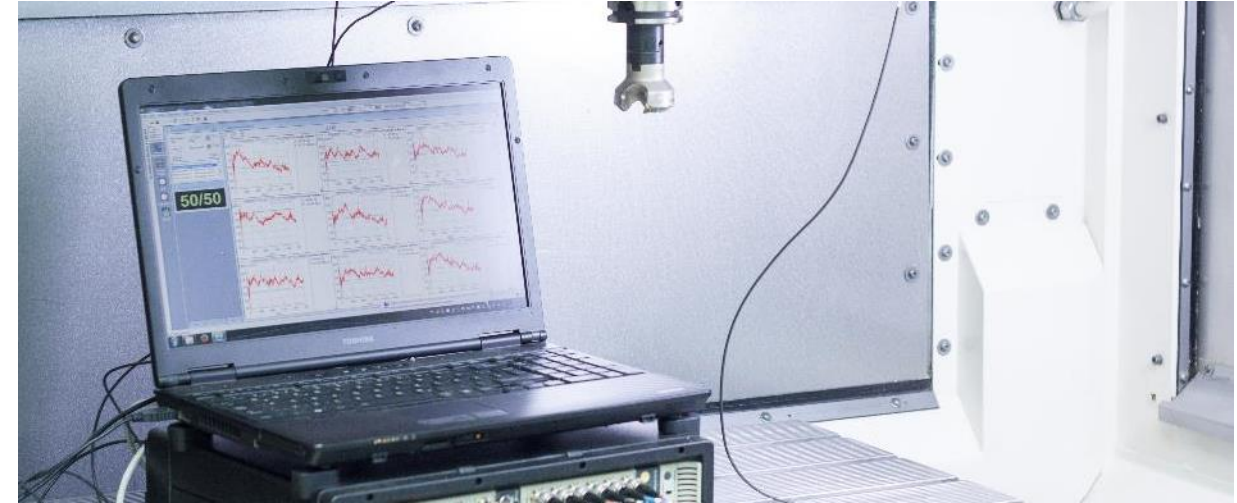


Prozessdaten – das Fundament zur Prozessgrenzenerweiterung



Steigende Prozessanforderungen

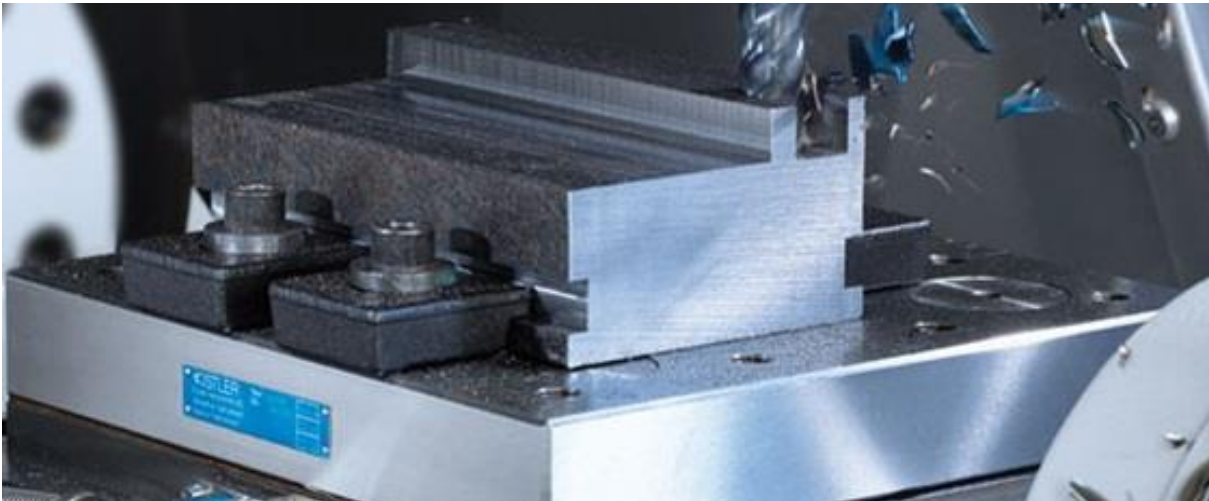
- Funktionsverdichtung der Bauteile
- Kürzere Produktentwicklungszyklen
- Schonender Umgang mit Ressourcen



Ausnutzen und Erweitern der Prozessgrenzen

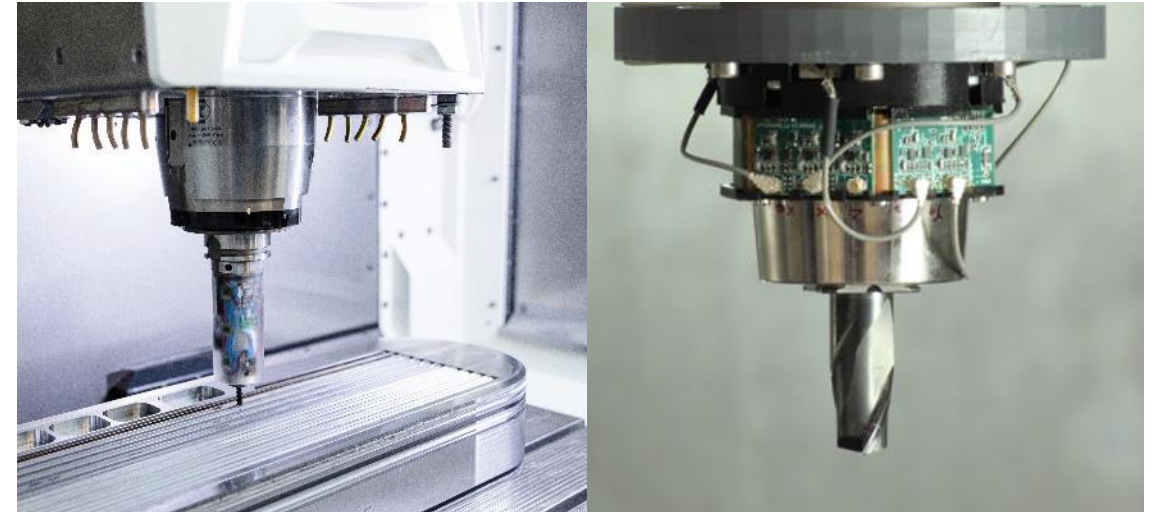
- Prozessanalyse, -überwachung und -regelung
- Notwendigkeit prozessnaher Daten

Quellen von Prozessdaten



Kommerziell verfügbare Datenquellen

- Maschinendaten
- Körperschall- und Beschleunigungssensoren
- Dynamometer



Neuartige Ansätze Werkzeugintegrierter Sensorik

- Wirkstellennähe
- Energy Harvesting



Gedruckte piezoelektrische Sensorik

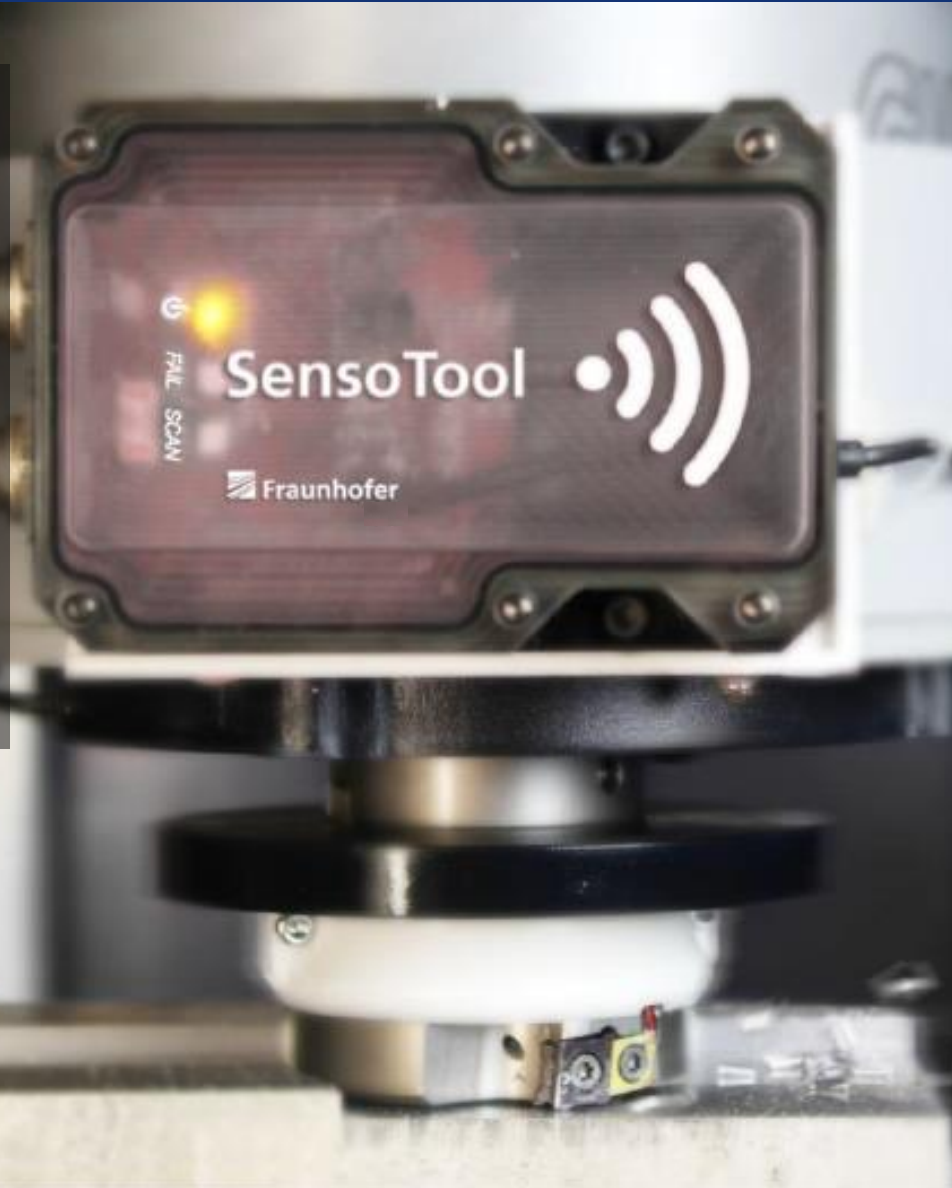
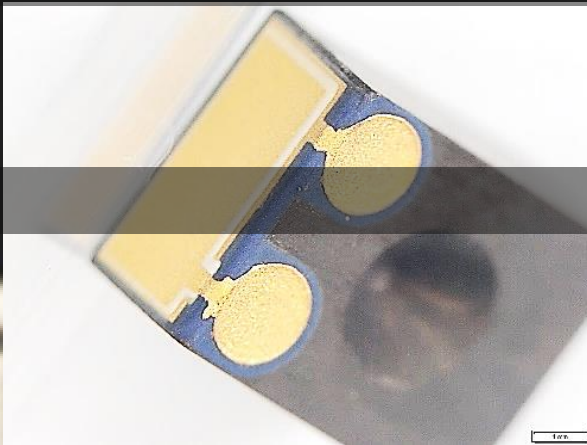
ermöglicht hohes Maß Funktionsintegration

Direkte Kraftmessung:

Kein Verformungskörper nötig, hierdurch keine Beeinflussung der Werkzeugsteifigkeit

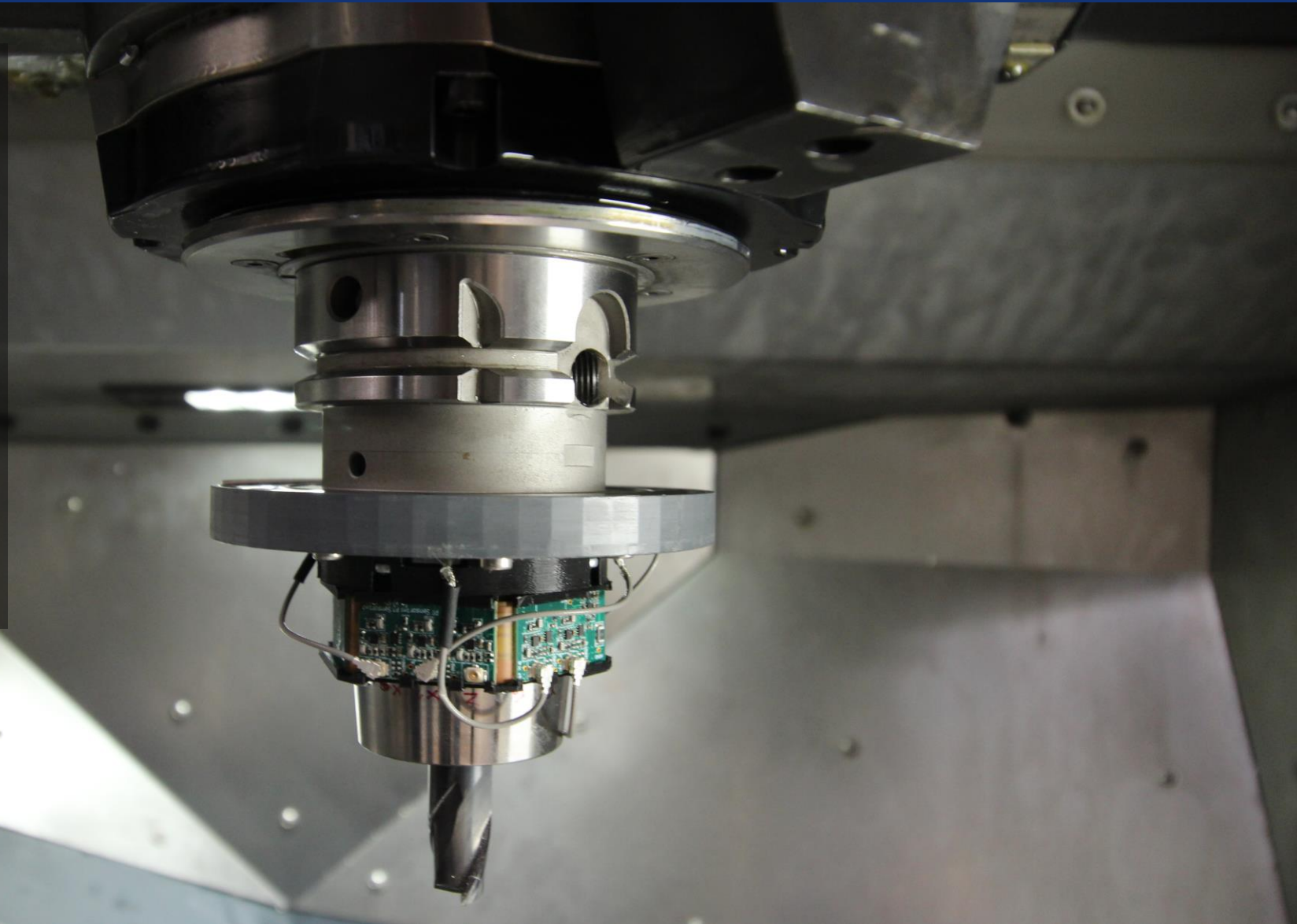
Skalierbarer Druckprozess

Siebdruck der Sensoren durch Fraunhofer IKTS



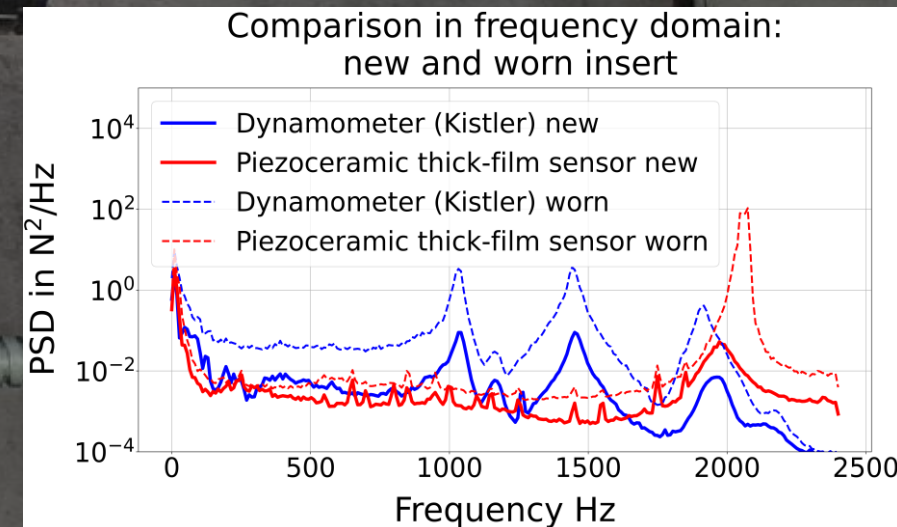
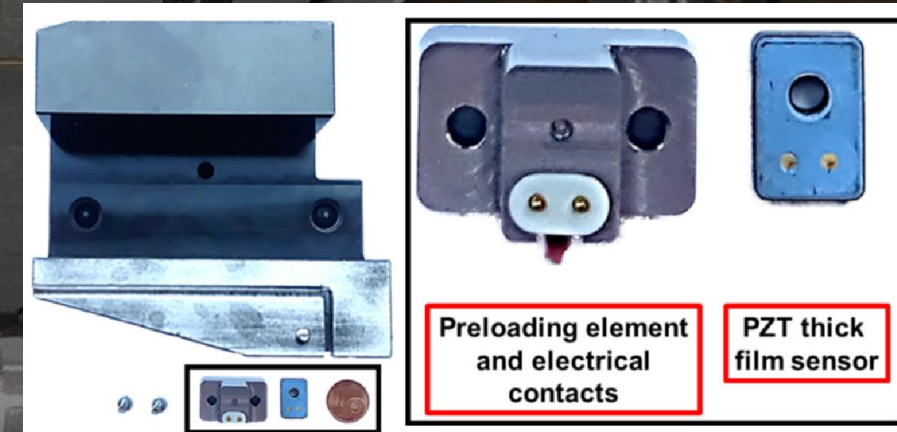
Einsatzfall Spannfutter

- Integration in Hydrodehnspannfutter
- Messung von:
 - Biegemomente in X & Z
 - Kraft in Z
 - Temperatur
- Drahtlose Daten- und Energieübertragung (NFC)

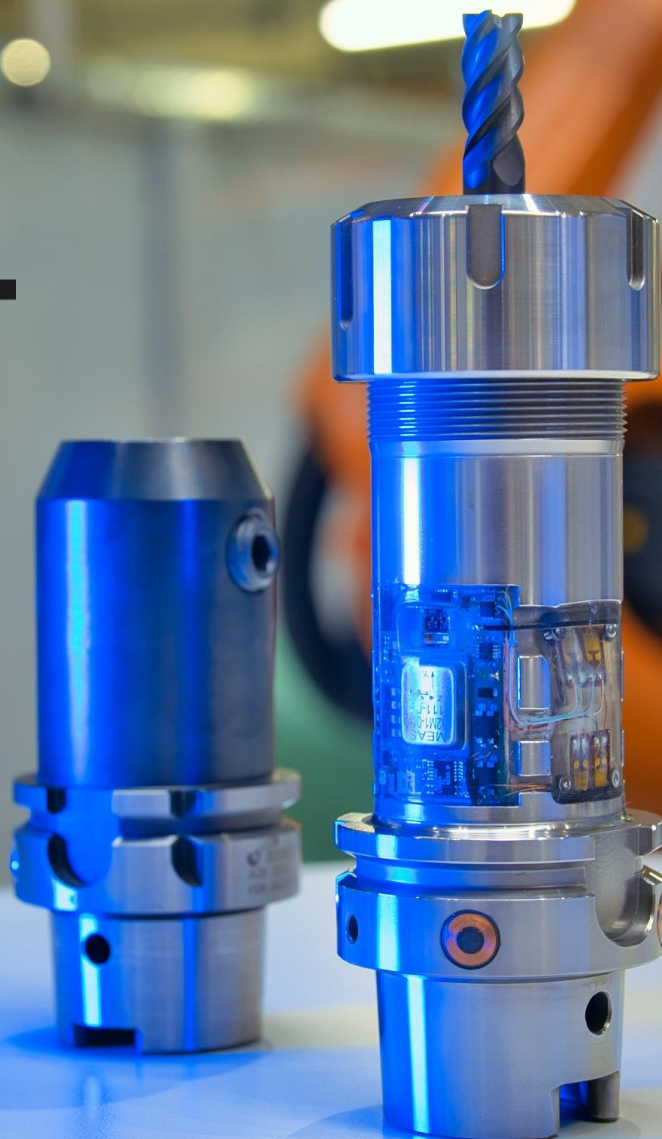


Einsatzfall Drehen

- Integration in VDI Aufnahme
- Messung der Schnittkraft
- Deutlich höhere Grenzfrequenzen im Vergleich zu Kistler



smartTOOL



Schwingungen:

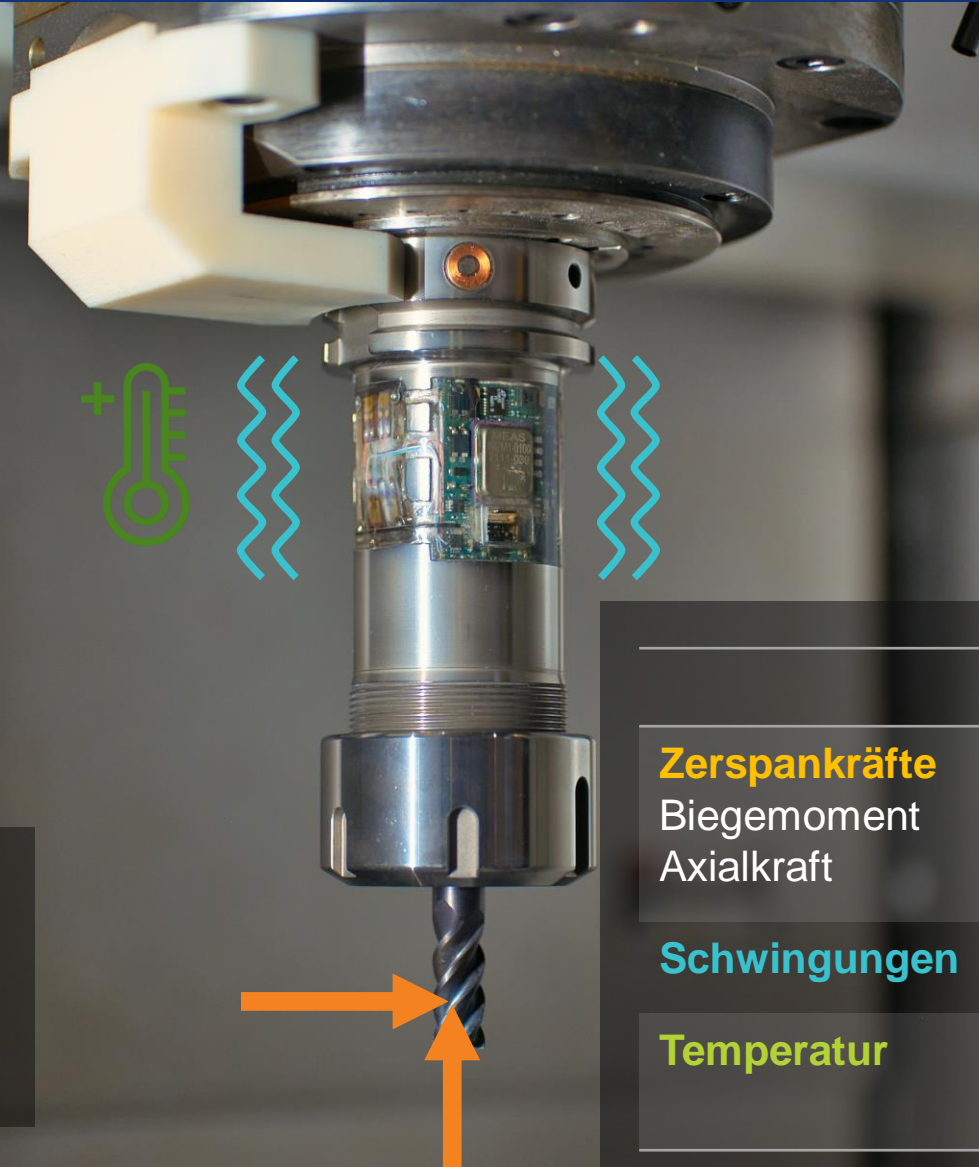
- **Prinzip:** piezoelektrischer 3-Achsiger Beschleunigungssensor (auf PCB)

Zerspankräfte:

- **Prinzip:** Dehnungsmessstreifen in Vollbrückenschaltungen
- auf Werkzeughalteroberfläche appliziert
- zweiachsige Messung

Temperatur:

- **Prinzip:** resistiver Sensor (RTD)
- auf Werkzeughalteroberfläche appliziert



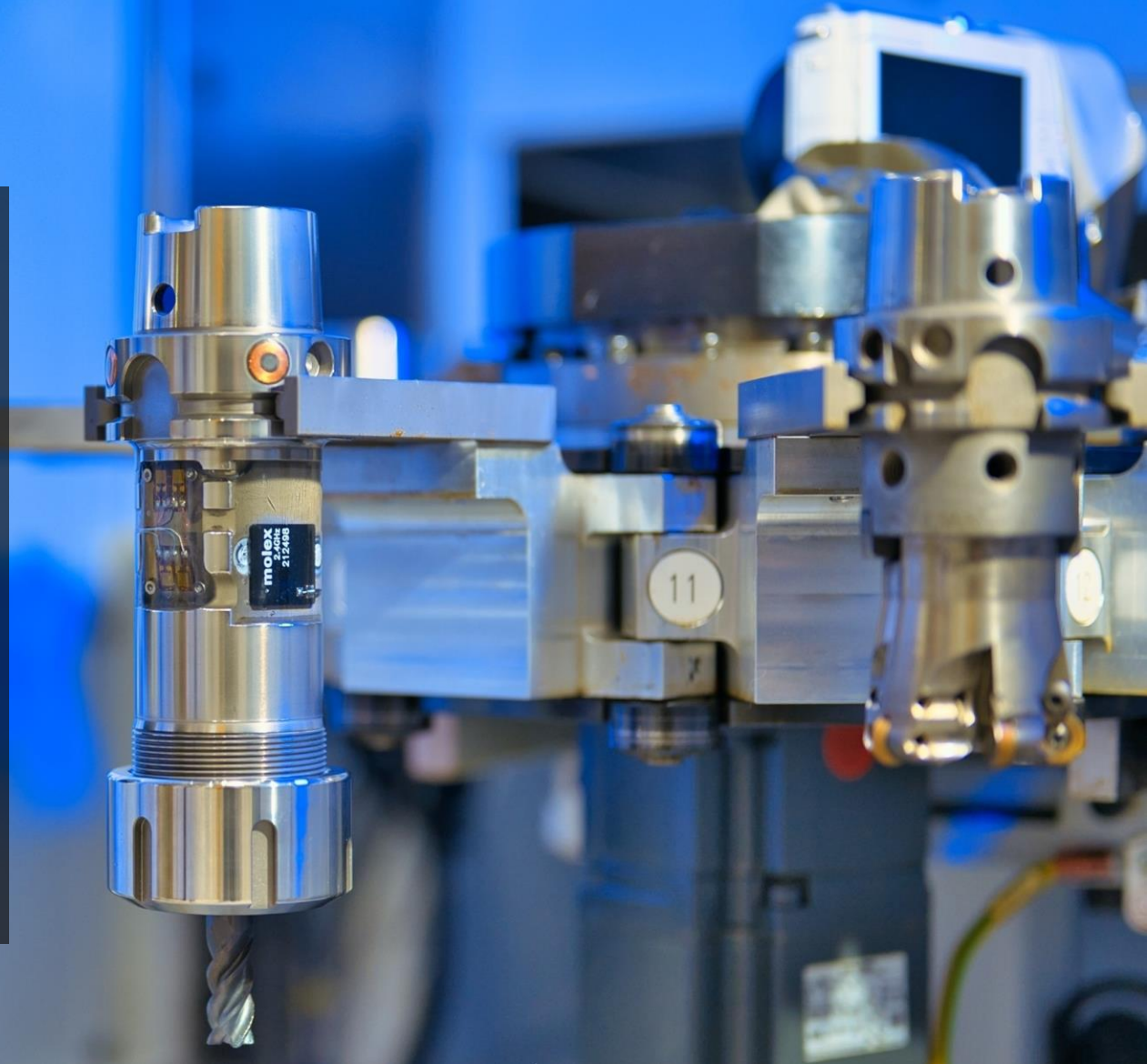
| | Messbereich | Sensitivität |
|----------------------|--------------------------------|-------------------|
| Zerspankräfte | | |
| Biegemoment | $\pm 400 \text{ Nm}$ | 1 Nm |
| Axialkraft | $\pm 15 \text{ kN}$ | 20 N |
| Schwingungen | $\pm 100 \text{ g}$ | 1 g |
| Temperatur | $-40 \dots +120^\circ\text{C}$ | 1°C |



Vernetzt durch *drahtlose*
Datenübertragung



- **Neustes Protokoll:** Bluetooth Low Energy 5.0
- **Datenrate:** 45 ... 50 kB/s
- **Updaterate** der Sensorsignale: ca. 10 kHz
- **Wake-up** << 1s
- Datenübertragung an **externe Auswerteeinheit** oder direkt an **Maschinensteuerung**





**Stator mit
Magneten**

Spulen

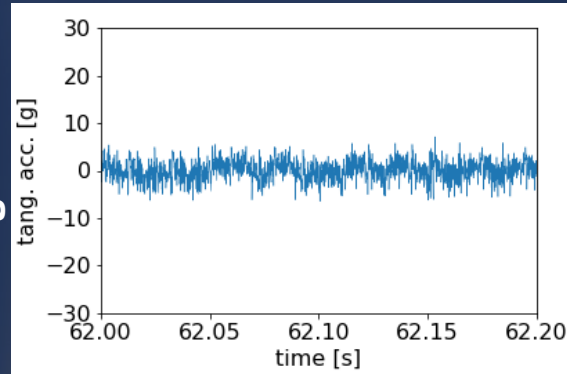
Energieautark durch *patentierte Energy Harvesting-Technologie*

- **Prinzip:** Generator basierend auf elektromagnetischer Induktion ($E_{kin} \rightarrow E_{el}$)
- **permanente** Energieversorgung
- Kompakte Statorgeometrie
 - **keine Komplikationen** mit Werkzeugwechsel
 - **frei anpassbar** an alle Spindeln
- **Drehzahlbereich:** 1800 ... 20000 min⁻¹
→ anpassbar durch Anzahl der Magneten und Luftspalt zwischen Stator und Rotor

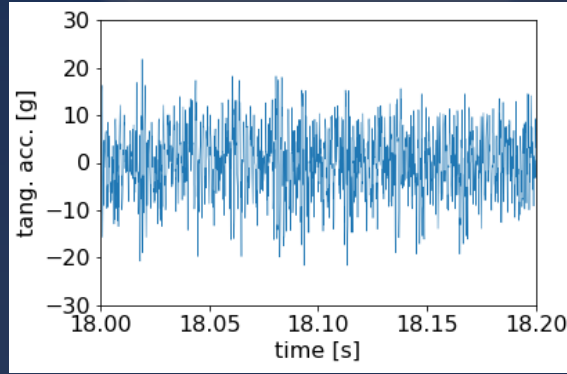
Ratterdetektion

Beschleunigungs-
signal

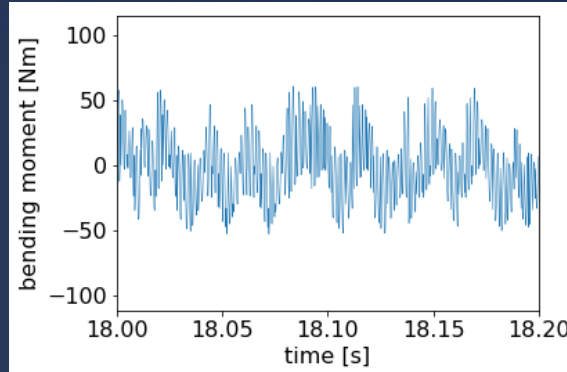
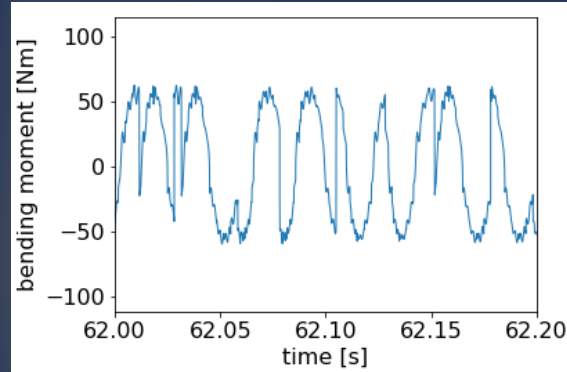
Dyn. stabiler Prozess



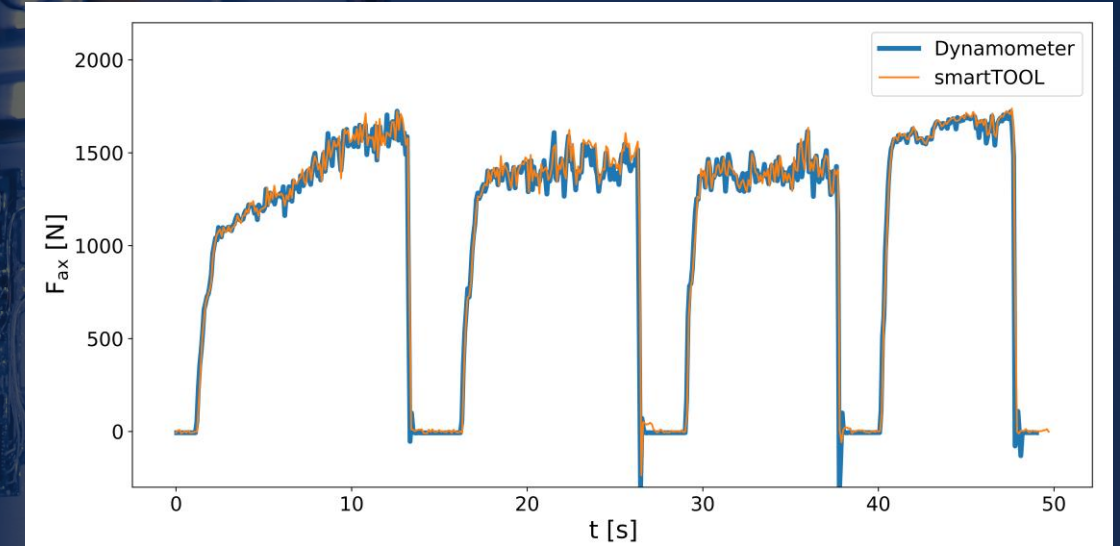
Rattern



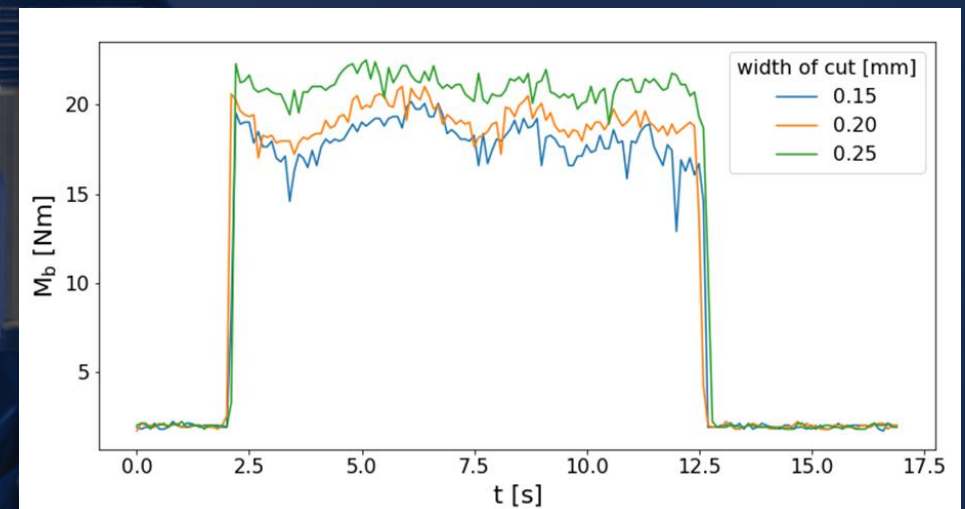
Kraftsignal



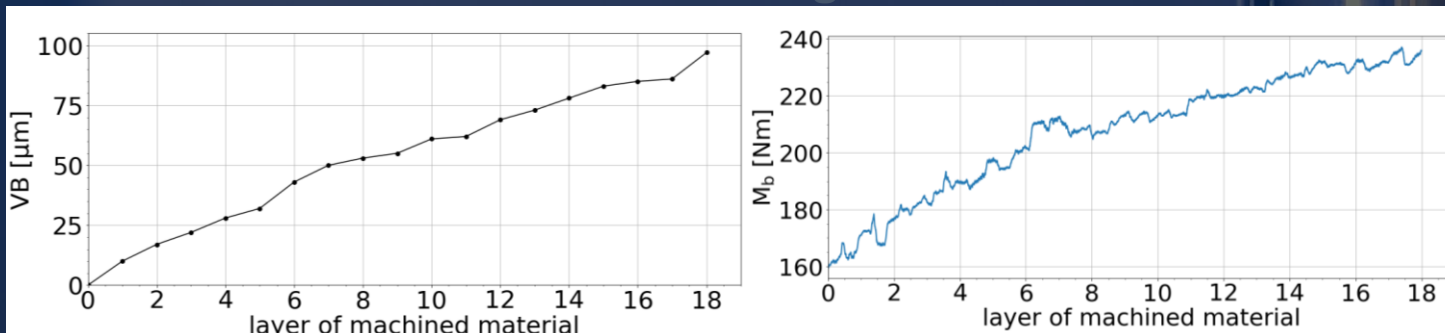
Vergleich mit Referenzmesssystem stationäres Dynamometer von KISTLER



Erkennung von Aufmaßschwankungen ($\Delta a_e = 0.05 \mu m$)



KI-basierte Detektion von Werkzeugverschleiß





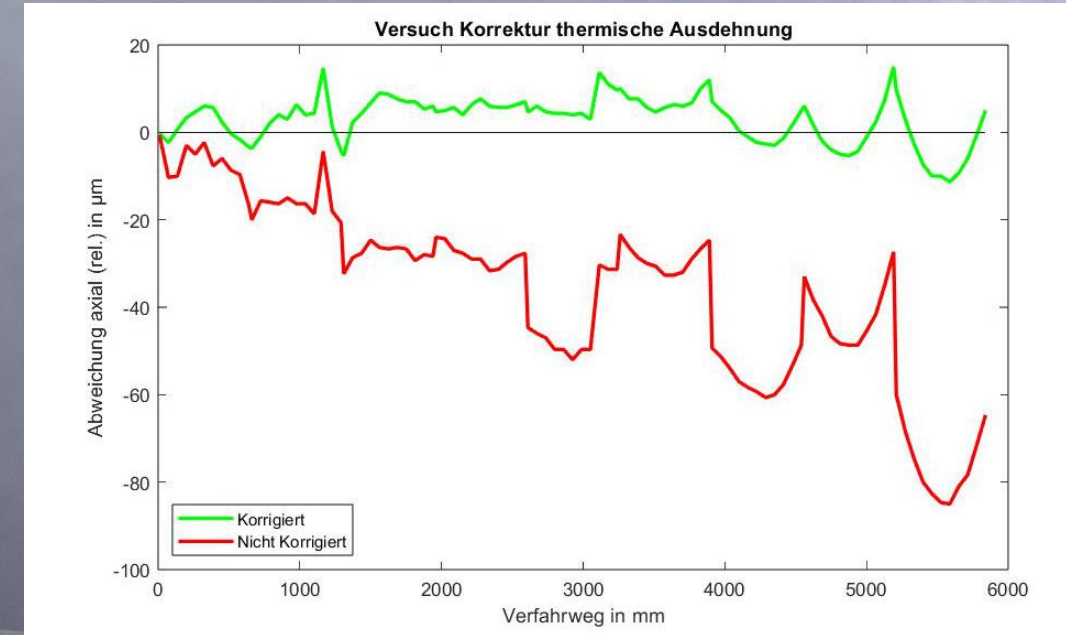


Energieautark und vielseitig:

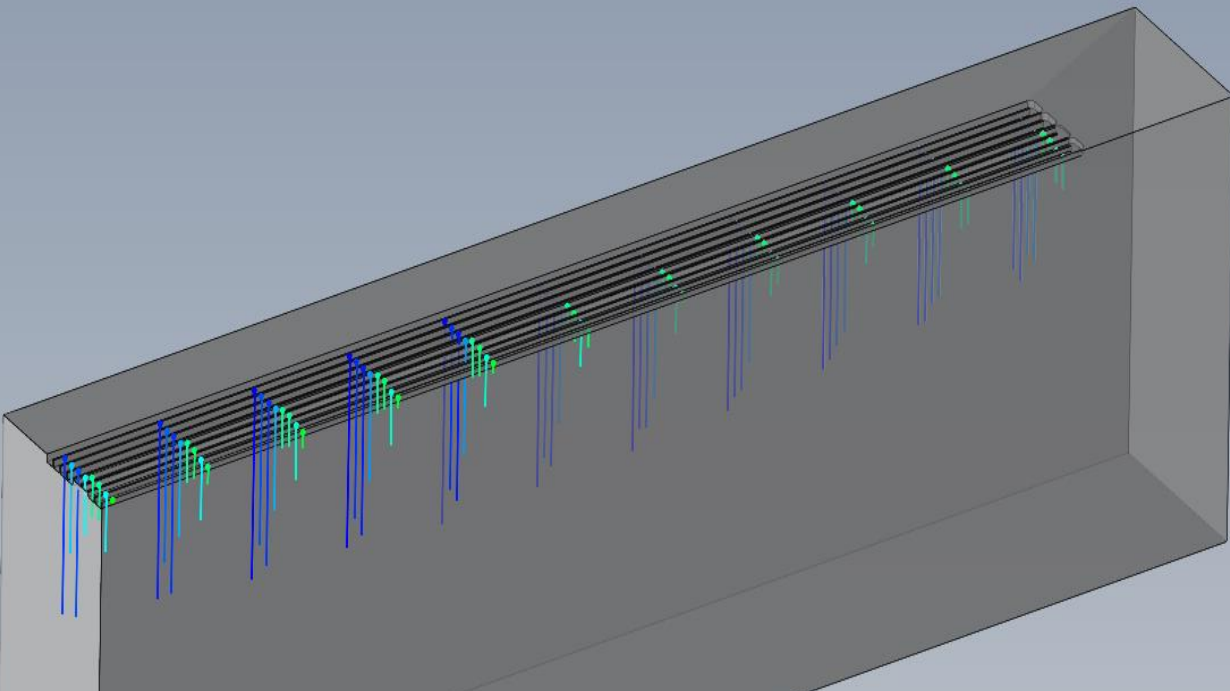
- Energy Harvesting-Funktion über Umgebungslicht
- Hocheffiziente Mikroelektronik
- Ein- und Ausschaltautomatik durch Bewegungserkennung
- Applikation an verschiedensten Spannmitteln

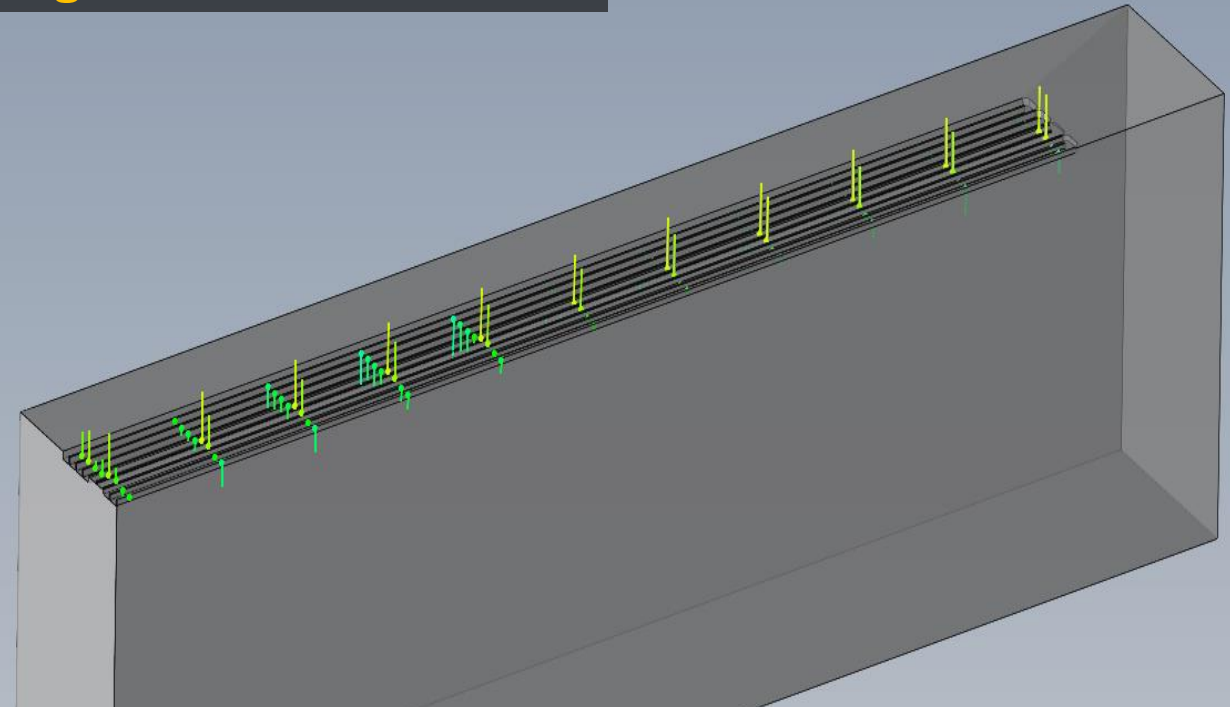
Thermische Berechnungen:

- Berechnung einer prozessaktuellen thermischen Werkzeugcharakterisierung
- Approximation der resultierenden thermischen Werkzeug- und Spannmittelausdehnung
- Berechnung von thermischen Korrekturwerten für Achskorrekturen



Erfolgreiche Korrektur:

- 
- Übertragung der Korrekturwerte zur Steuerung und Einbindung in Bearbeitungsprogramm (Synchronaktion)

- 
- Erzielte Reduzierung der thermisch bedingten Ungenauigkeiten in Fräsversuchen um durchschnittlich 80 %

Werkzeug- und spannmittelintegrierte Sensorik zur in-situ Überwachung spanender Fertigungsverfahren

Dipl.-Ing. Martin Ettrichrätz, Dr.-Ing. Joachim Regel, Dipl.-Ing. Hendrik Rentzsch

Piezoelektrische Wirkstellennahe Schnittkraftmessung

Dipl.-Ing. Martin Ettrichrätz
Telefon +49351 4772-2105
martin.ettrichraetz@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Sylvia Gebhardt
Telefon +49 351 2553-7694
sylvia.gebhardt@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de

Kompensation thermischer Längenänderung

Dr.-Ing. Joachim Regel
Telefon +49371/531-38147
joachim.regel@mb.tu-chemnitz.de
www.tu-chemnitz.de/mb/psp/

SmartTOOL

Dipl.-Ing. Hendrik Rentzsch
Telefon +49 371 53971392
hendrik.rentzsch@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de