
FEINWERKTECHNISCHE KONSTRUKTIONEN MIT PIEZOKERAMIKEN

Thomas Rödиг



DIN EN ISO 9001:2000
Zertifikat: 01 100 005194



Fraunhofer
IKTS

www.ikts.fraunhofer.de



GLIEDERUNG

- Einleitung
- Beispiele feinwerktechnischer Konstruktionen
 - Aktorik
 - Sensorik
 - Generatoren
- Zusammenfassung

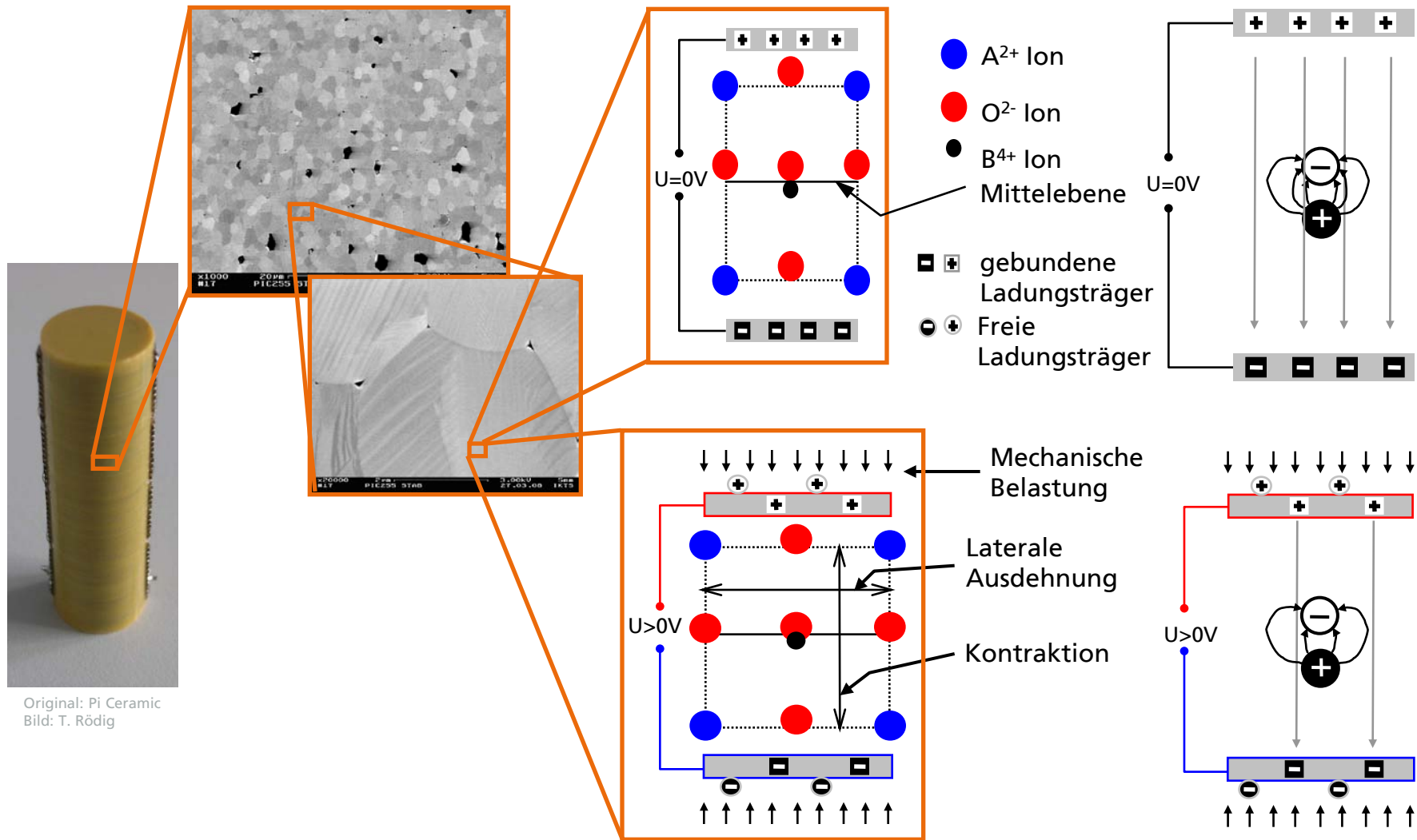
Einleitung – Anwendungsgebiete der Piezokeramik



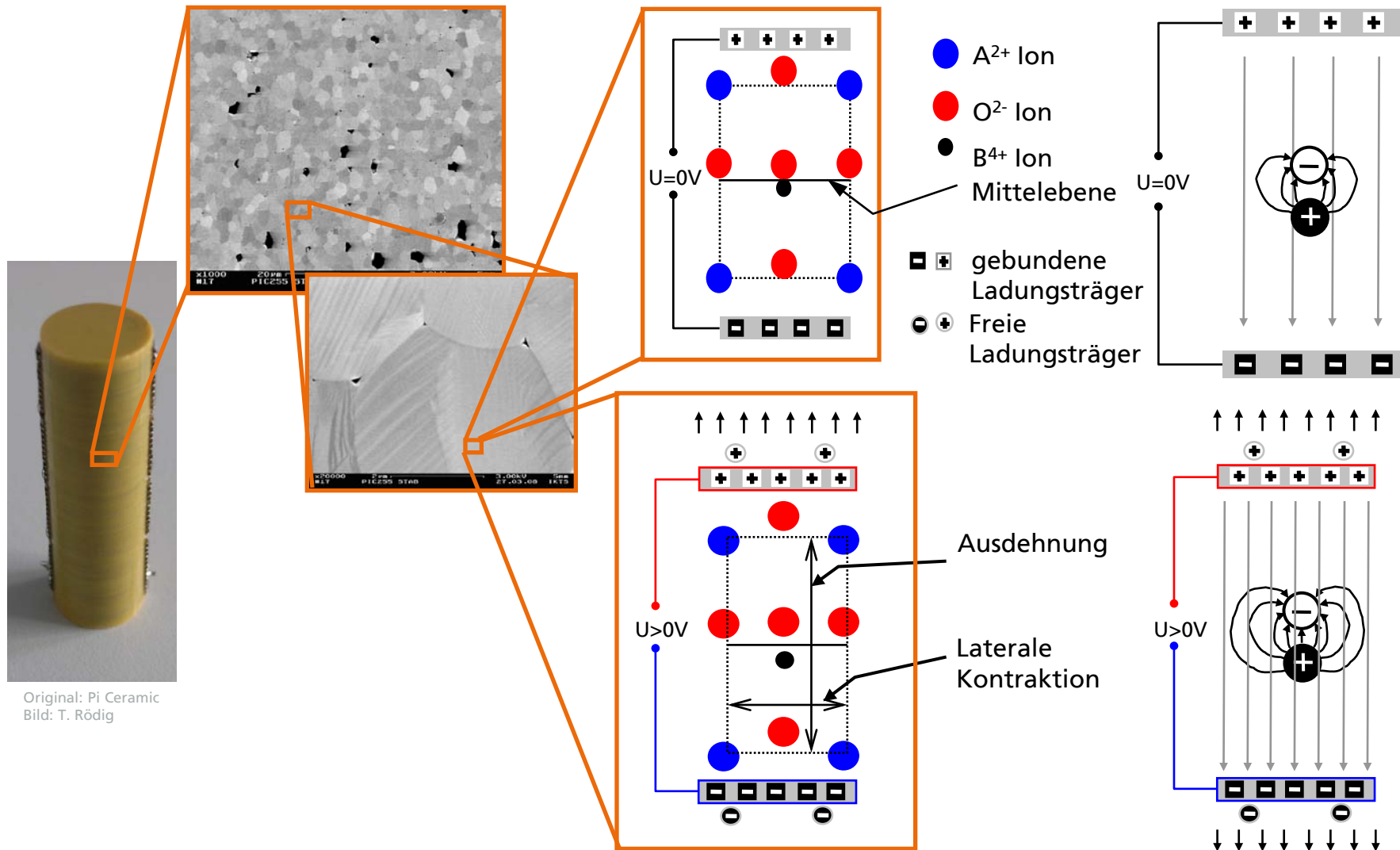
Original: Pi Ceramic
Bild: T. Rödiger



Piezoelektrischer Effekt (Sensoren, Generatoren)



Inverser piezoelektrischer Effekt (Aktoren)



Original: Pi Ceramic
Bild: T. Rödiger

ISBN 978-3-00-038084-6

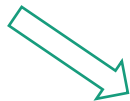
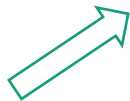
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Einleitung – Arbeitsbereiche

$$\begin{bmatrix} S \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s^E & d \\ d & \varepsilon^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \\ E \end{bmatrix}$$



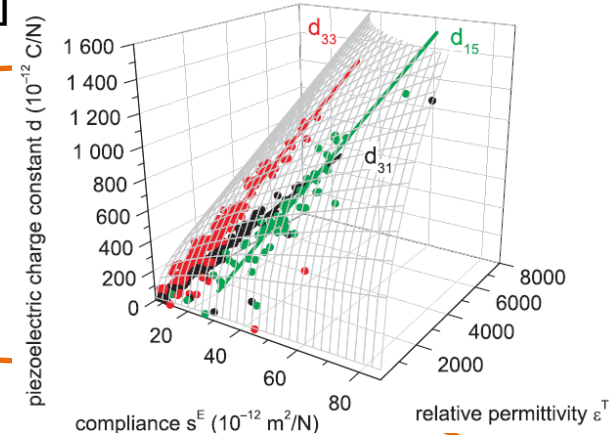
Original: Pi Ceramic
Bild: T. Rödиг



Sensorik / Generatoren :

- Spannung: $U \approx \frac{d}{\varepsilon^T} \cdot F \approx g^T \cdot F$ [V]
- Ladung: $Q \approx d \cdot F$ [nC]

Permittivität ε_r : 500...5000
 Nachgiebigkeit s^E : 8...25 [10^{-12} m²/N]
 Piezoelektrische
 Ladungskonstante d: 200...1000 [pC/N]



Aktorik:

- Kraft: $F \approx \frac{d}{s^E} \cdot U \approx e^E \cdot U$ [kN]
- Auslenkung: $\xi \approx d \cdot U$ [μ m, ‰]

Einleitung – Beispiele aus der Technik

Aktor im Dieseleinspritzventil

- Piezokeramisches Element:
 - 7x7 mm² x 30 mm
 - z.B. Ceramtec SONOX® P505
- Auslenkung: 40 µm



Original: Continental
Bild: T. Rödig



Original: Pi Ceramic
Bild: T. Rödig

Funkengenerator im Feuerzeug

- Piezokeramische Elemente:
 - 2x2 mm² x 5mm (2x)
 - z.B. Ceramtec SONOX® P5
- Ausgangsspannung: > 10 kV

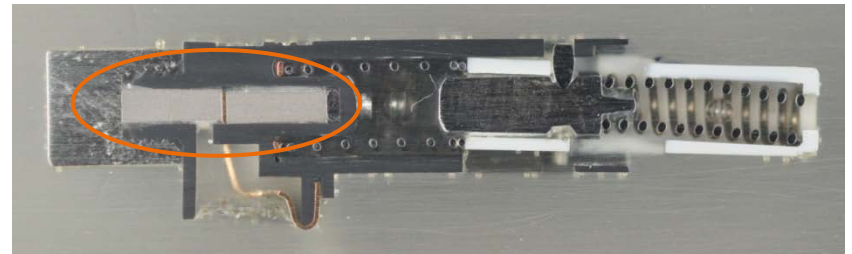


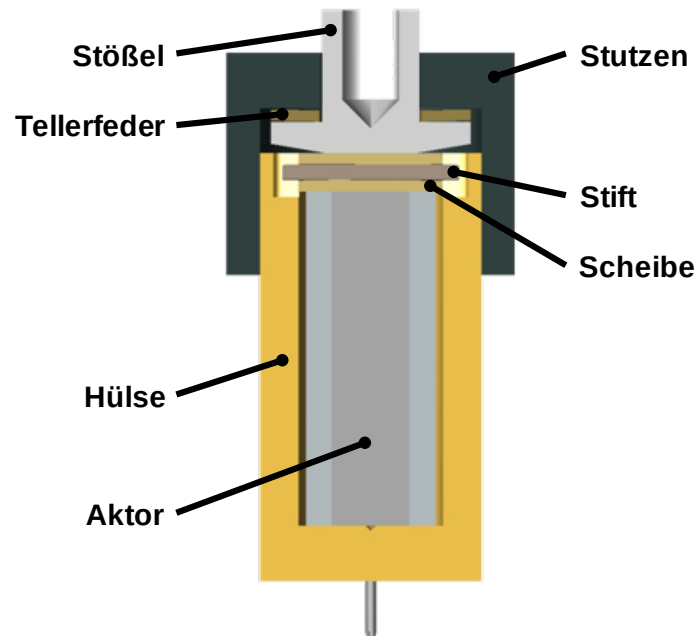
Bild: T. Rödig

GLIEDERUNG

- Einleitung
- Beispiele feinwerktechnischer Konstruktionen
 - Aktorik
 - Feinwerktechnische Keramik – Metall – Interfacestrukturen
 - Wegverstärkungselemente
 - Technologische Integration
 - Sensorik
 - Generatoren
- Zusammenfassung

Aktorik – Interface Keramik – Struktur

- Problem 1: Ausfall der spröden Piezokeramik unter Fehlbelastung (Zug, Torsion)
- Lösung 1: Feinwerktechnische Interfacestruktur



Schnetter, Jens,

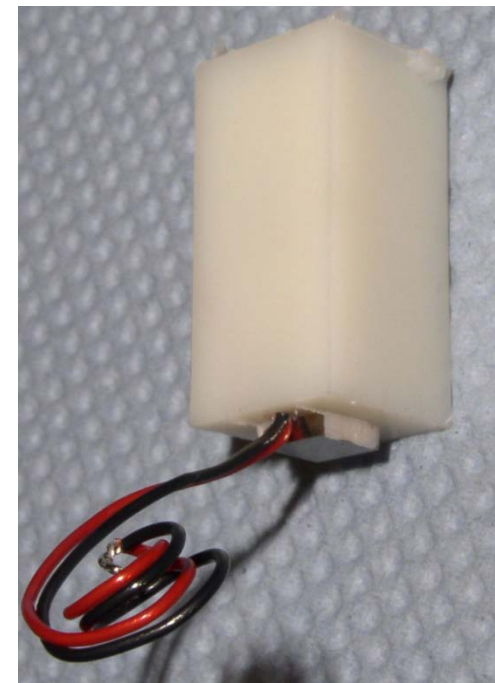
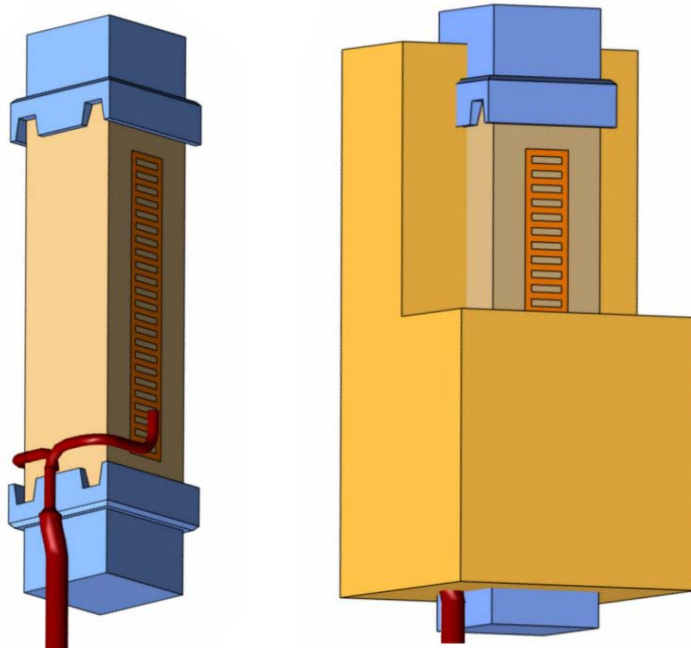
Beanspruchungsgerechte Auslegung intelligenter Strukturen mit piezoelektrischen Bauelementen. Dresden, Technische Universität / Fraunhofer IKTS, Diplomarbeit, 2005

ISBN 978-3-00-038084-6

thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

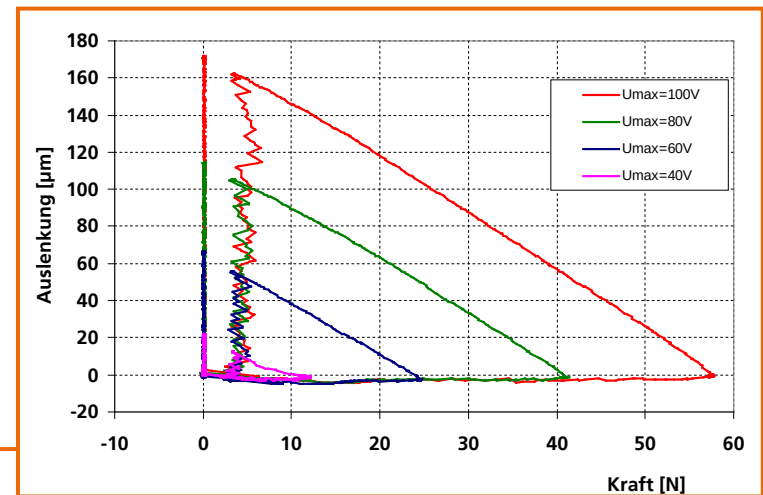
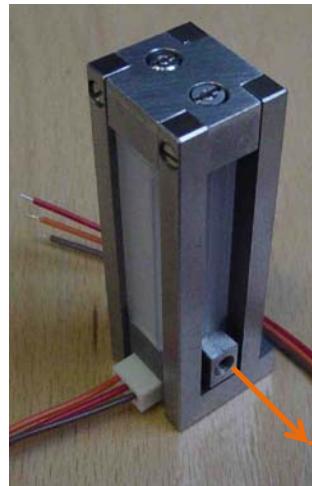
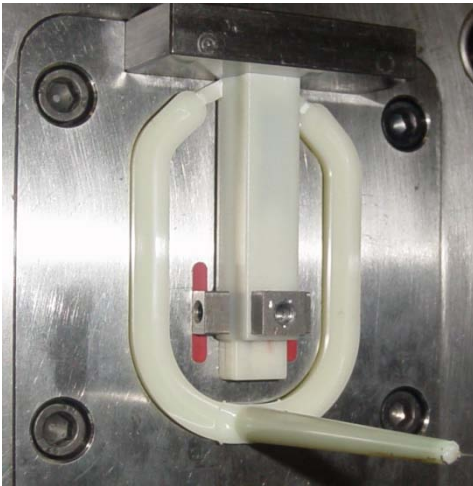
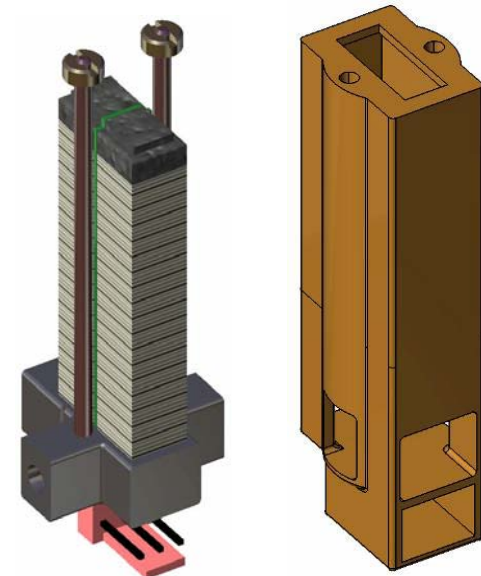
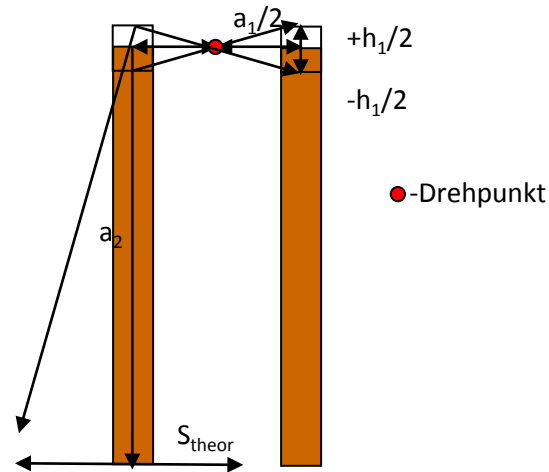
Aktorik – Interface Keramik – Struktur

- Problem 2: komplexe feinwerktechnische Interfacestrukturen
- Lösung 2: Umspritzen metallische Endkappen mit Polymer



Aktorik – Interface Keramik – Struktur mit Wegverstärkung

- Idee:
Differentialanordnung
zweier Aktoren mit
Hebelübersetzung

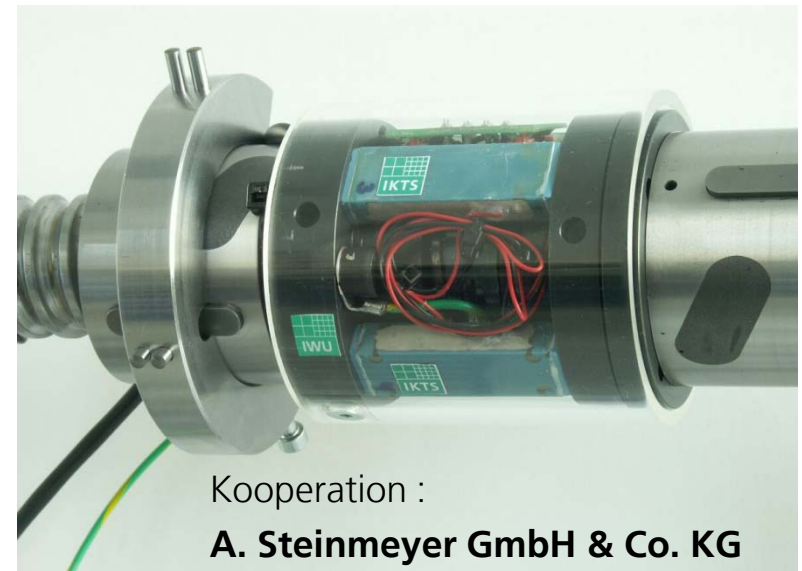
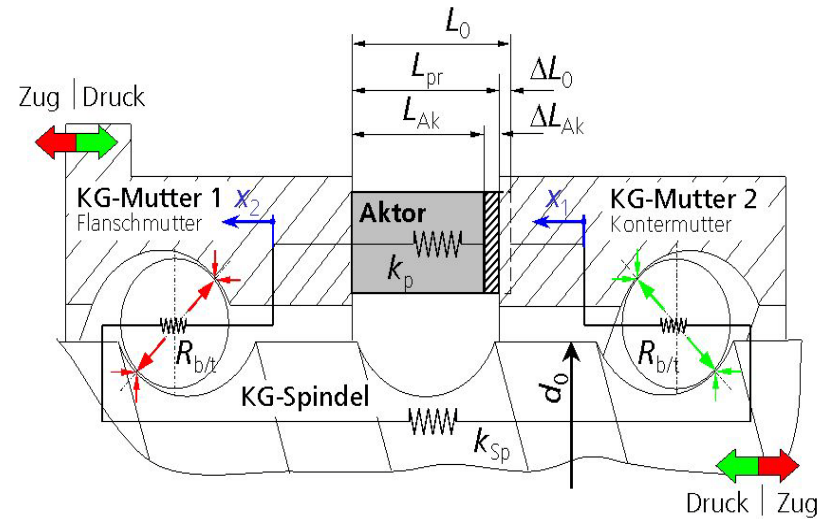
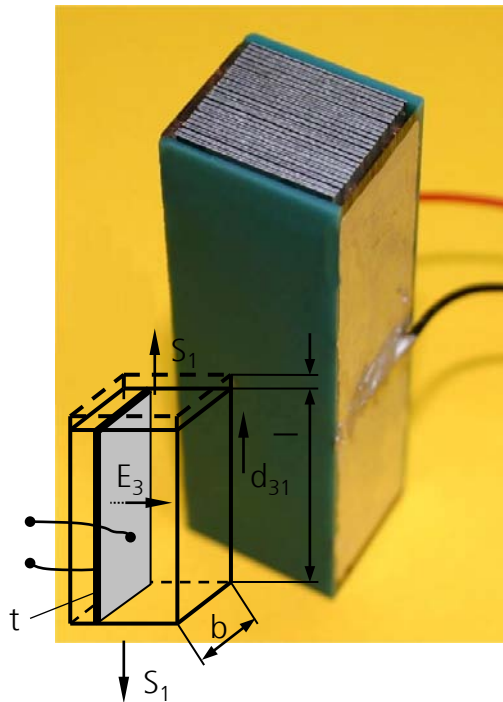


ISBN 978-3-00-038084-6

thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Aktorik – Kompositaktoren

■ Schadenstolerante Anordnung der Piezokeramik

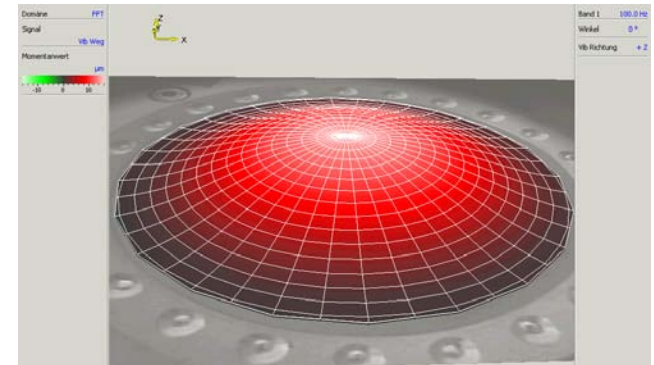
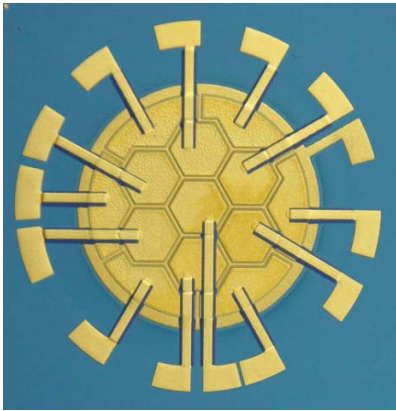


ISBN 978-3-00-038084-6

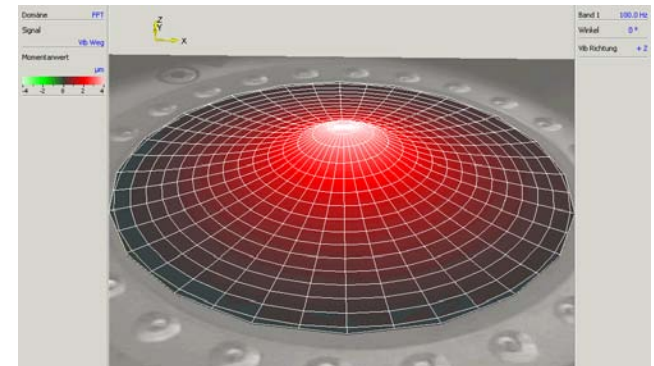
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Aktorik – Piezokeramische Dickschichten

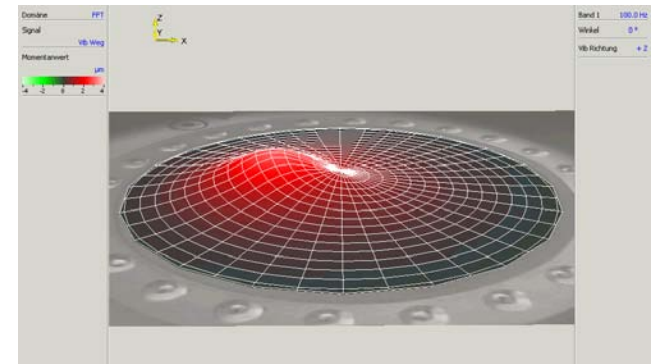
- Deformierbare Spiegel zur Laserstrahlformung
- Verschiebung von Wellenfronten von Hochleistungs-Lasern
- Auslenkung @ 2kV/mm: 45 μm
- Resonanzfrequenz: 1.45 kHz



Alle Elemente, $E = 0.75 \text{ kV/mm}$



Mittleres Element, $E = 0.75 \text{ kV/mm}$



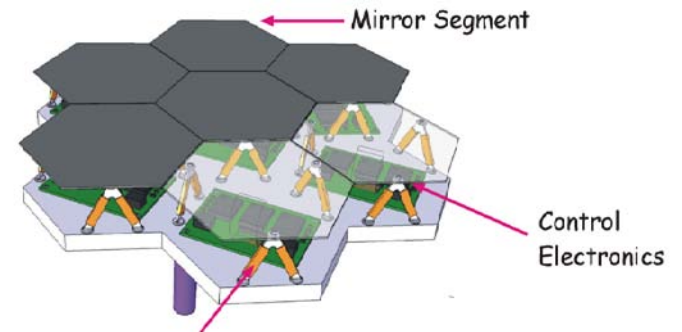
Ein äußeres Element, $E = 0.75 \text{ kV/mm}$

ISBN 978-3-00-038084-6

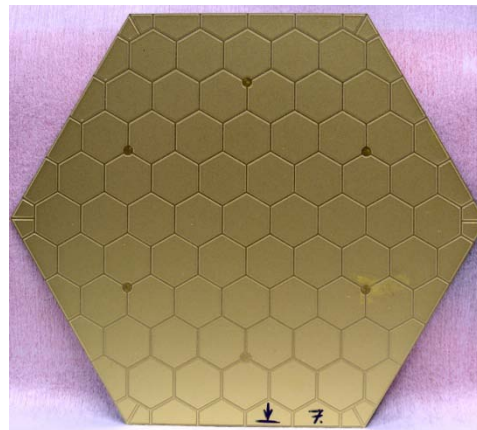
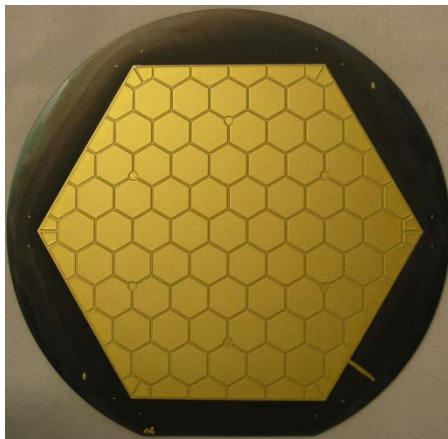
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Aktorik – Piezokeramische Dickschichten

- Segmentierte verformbare Spiegel für große erdstationäre Teleskope



Bipod Kinematic Mount
With Linear Piezo Actuator
Stroke < 50 μm

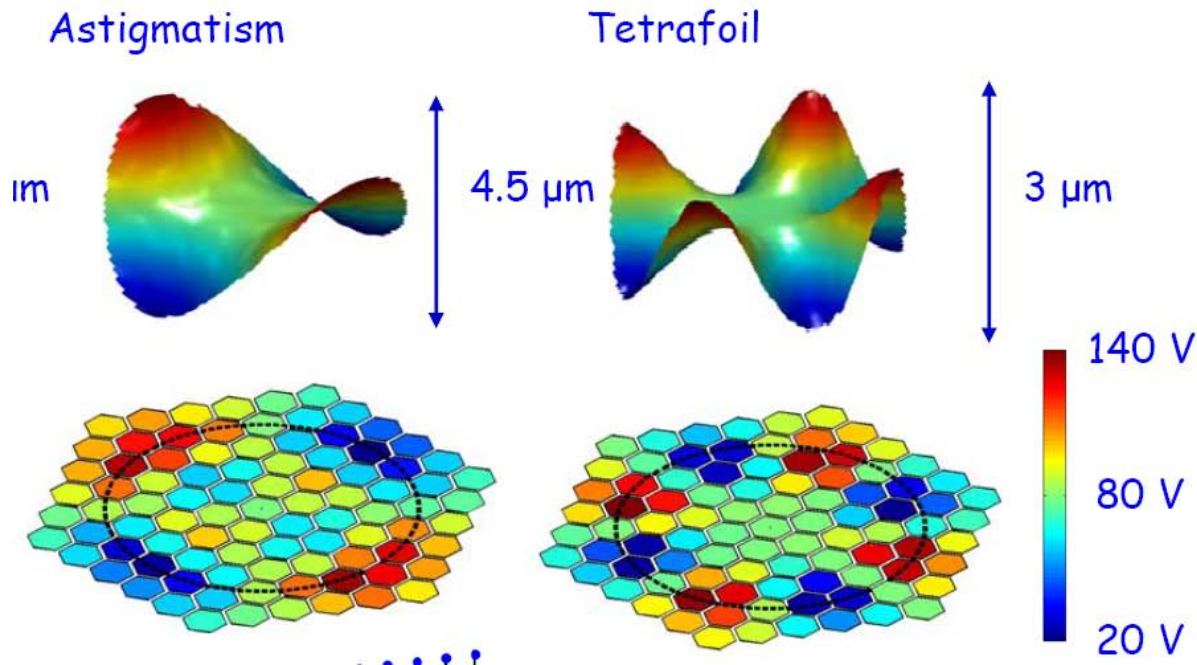


ISBN 978-3-00-038084-6

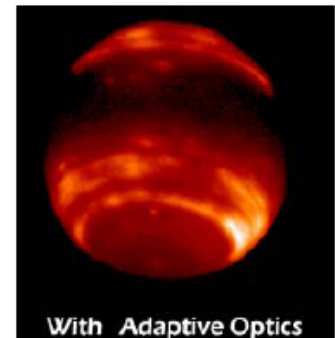
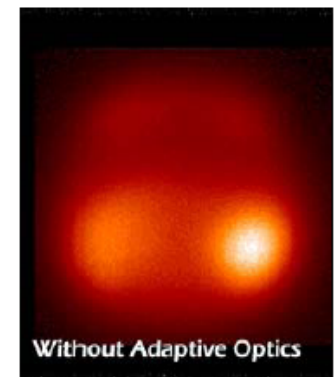
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Aktorik – Piezokeramamische Dickschichten

- Ausgleich von
 - atmosphärischen Störungen
 - Toleranzen / Temperatureinflüsse



Neptune

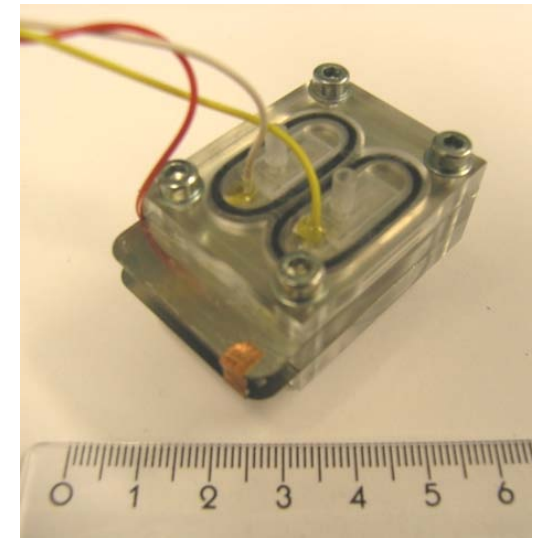
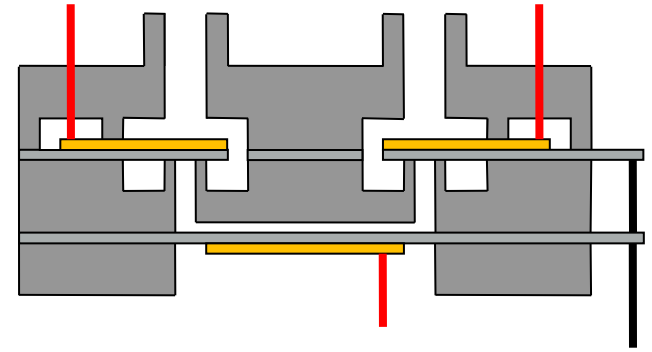


[Source: Claire Max, UCSC]

Aktorik – Pumpen und Ventile

■ Piezoelektrische Pumpe mit aktiven Ventilen

- Steife Ventileklappe → hohe Arbeitsfrequenz
- Vorwärts- / Rückwärtspumpen
- Einfachere Konstruktion
 - Pumpenlayer
 - Ventillayer



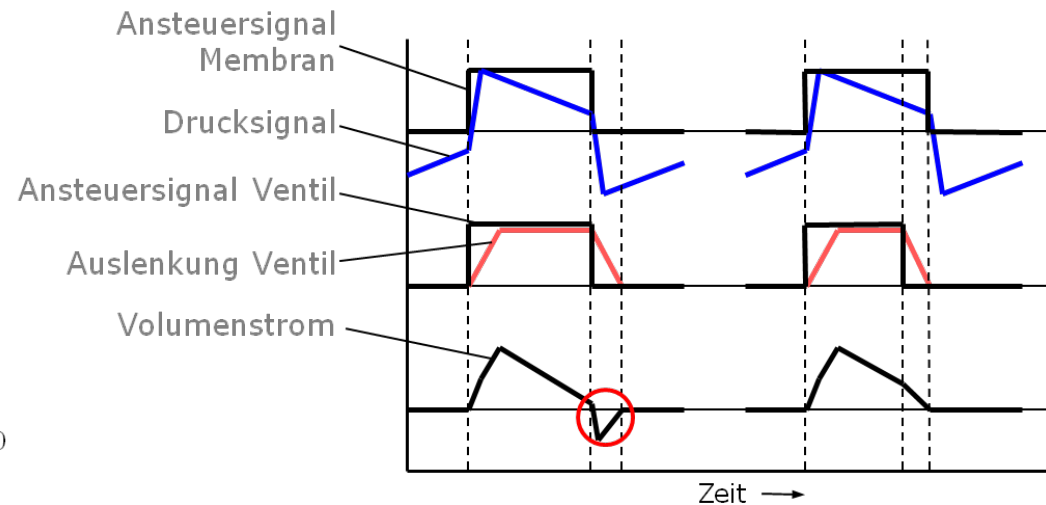
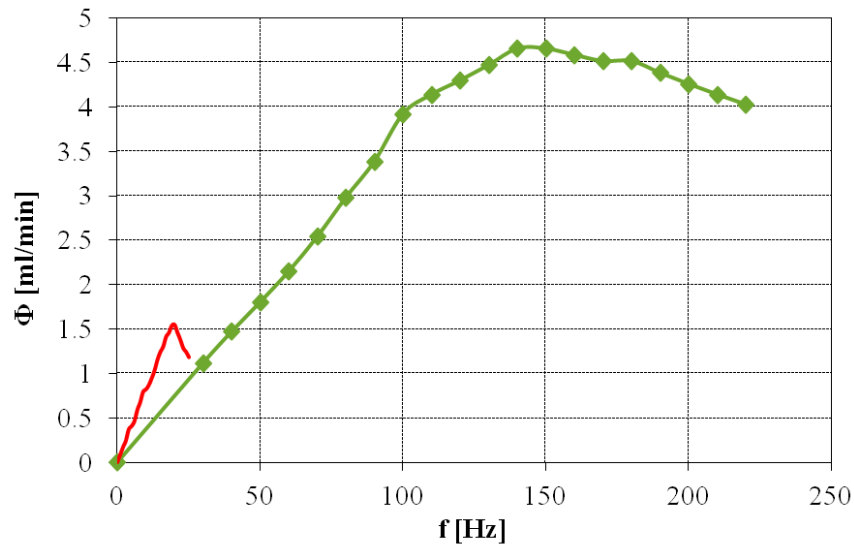
Lobe, Jürgen: Piezoelektrische Mikropumpe mit aktiven Ventilen.
Dresden, Technische Universität / Fraunhofer IKTS, Diplomarbeit, 2011

ISBN 978-3-00-038084-6

thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Aktorik – Pumpen und Ventile

- Piezoelektrische Pumpe mit aktiven Ventilen
 - Deutlich höhere Förderleistungen möglich
 - Definiertere Fördermenge



Lobe, Jürgen: Piezoelektrische Mikropumpe mit aktiven Ventilen.

Dresden, Technische Universität / Fraunhofer IKTS, Diplomarbeit, 2011

ISBN 978-3-00-038084-6

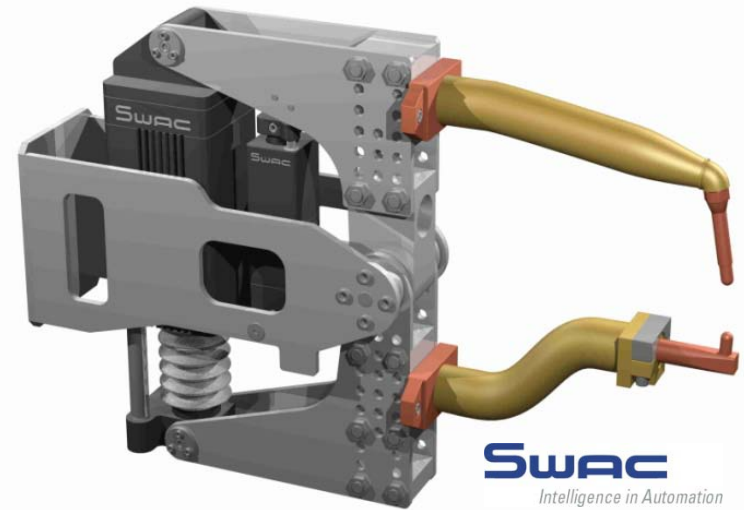
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

GLIEDERUNG

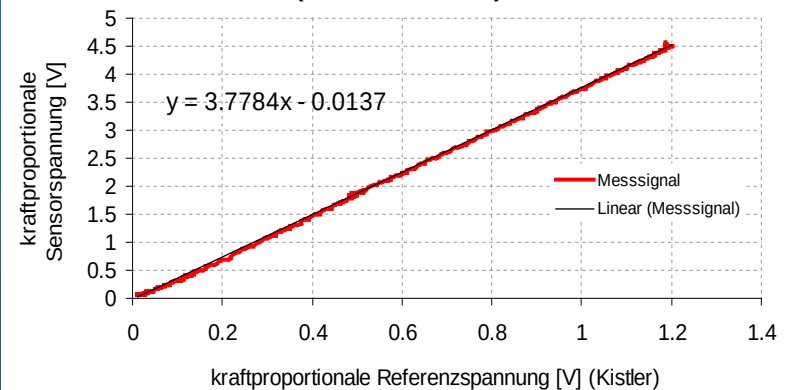
- Einleitung
- Beispiele feinwerktechnischer Konstruktionen
 - Aktorik
 - Sensorik
 - Technologische Integration
 - Generatoren
- Zusammenfassung

Sensorik – Piezoelektrischer Sensor

- Hochlastkraftsensor
 - Steife Stützstruktur (Al_2O_3)
 - Piezokeramik im Kraftfluss
 - Nutzung der Elektronik AVT



HLKS-SWAC 2nd Generation
(max. Kraft 15kN)

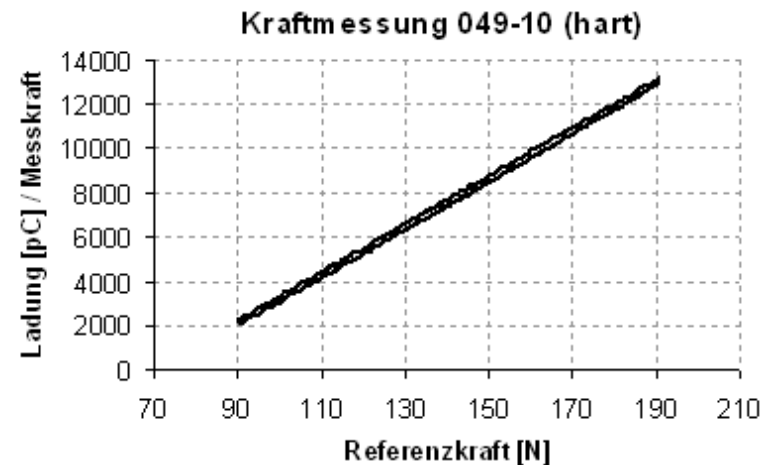


ISBN 978-3-00-038084-6

thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Sensorik – Piezokeramische Dickschichten

- Hochlastkraftsensor
 - Steife Stützstruktur (Al_2O_3)
 - PZT-Dickschicht im Runddruckverfahren
 - Piezokeramik **nicht** im Kraftfluss (Verformungsmessung)
 - Nutzung der Elektronik AVT



ISBN 978-3-00-038084-6

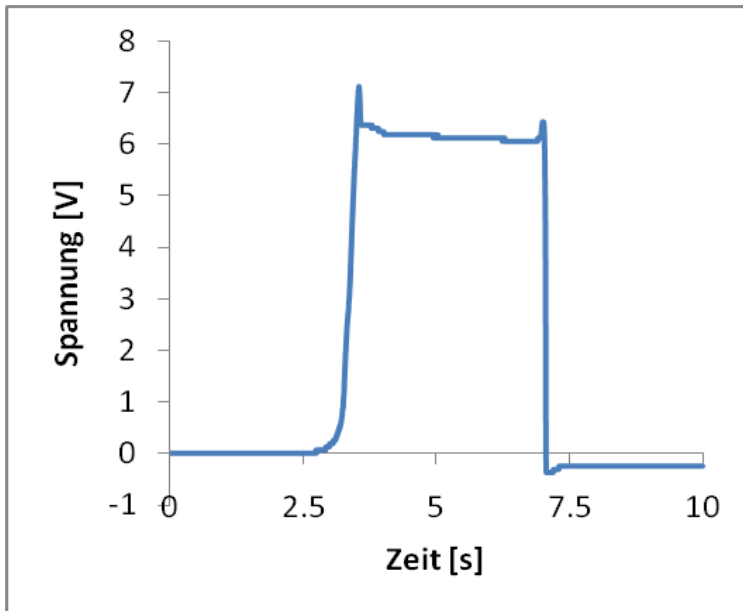
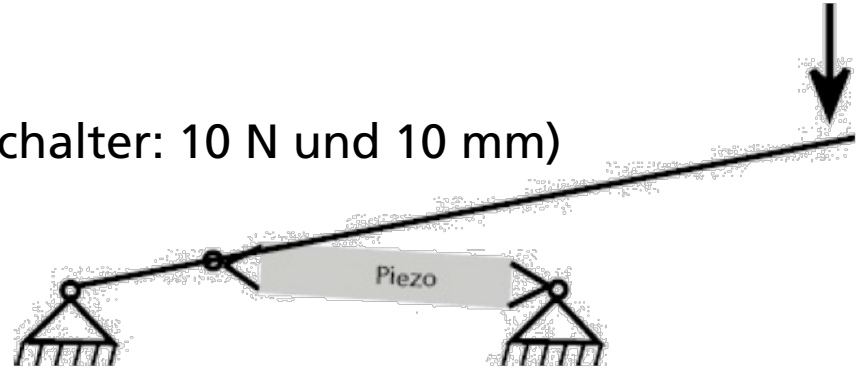
thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

GLIEDERUNG

- Einleitung
- Beispiele feinwerktechnischer Konstruktionen
 - Aktorik
 - Sensorik
 - Generatoren
- Zusammenfassung

Generatoren – Daumendruckgenerator

- $W_{\text{mech}} = 100 \text{ mNm}$ (DIN- Norm für Schalter: 10 N und 10 mm)
- $W_{\text{el}} = 325 \mu\text{Ws} \rightarrow \eta = 3,25\%$ (!)
- aber $\eta = 3,2 \cdot 10^{-4} \%$ (nur Piezo)



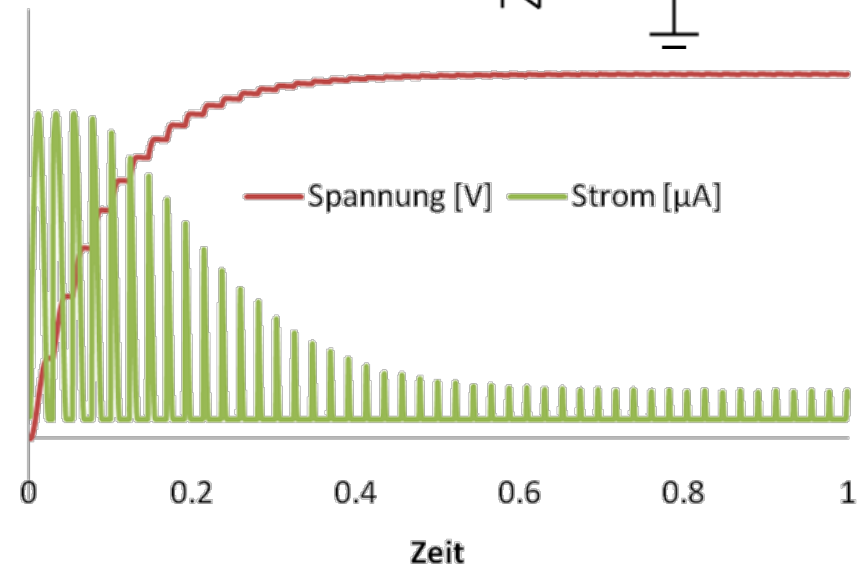
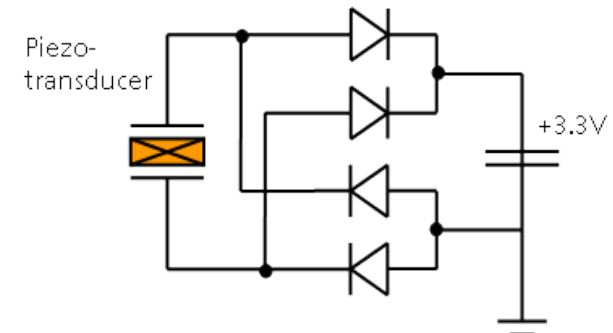
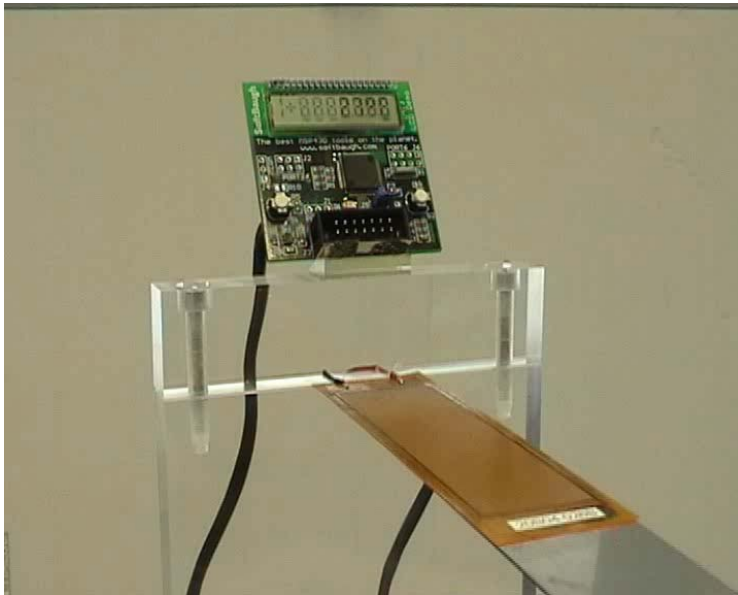
Generatoren – Daumendruckgenerator – Anwendung

- Kabellose Funklichtschalter
 - Nachträglicher Einbau
 - Flexible Schalterbelegung
- Grundfunktion
 - 868 MHz Funkmodul
 - Einwegkommunikation (sehr kurzes Informationspaket)



Generatoren mit kontinuierlicher Anregung

- Sinusförmige Anregung
- Grundfunktion
 - Anzeige
 - Temperaturmessung



Generatoren – CoolSilicon



- Das Projekt Cool Sensor Net wird als Teil des Spitzenclusters "Cool Silicon" im Rahmen des Spitzencluster-Wettbewerbs des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.
- Flugzeuge der nächsten Generation (Kohlefaser-Verbund-Werkstoffe)
- Beispiele:
 - Boeing Dreamliner
 - Airbus A350
- Herausforderung:
 - Strukturüberwachung
 - Lebensdauer 30 Jahre

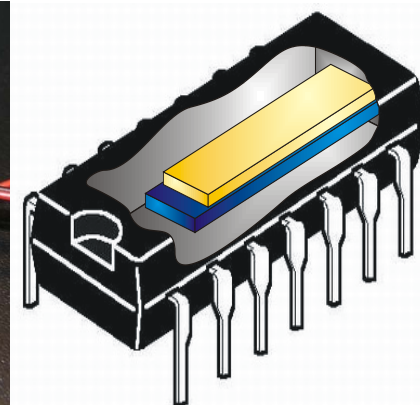
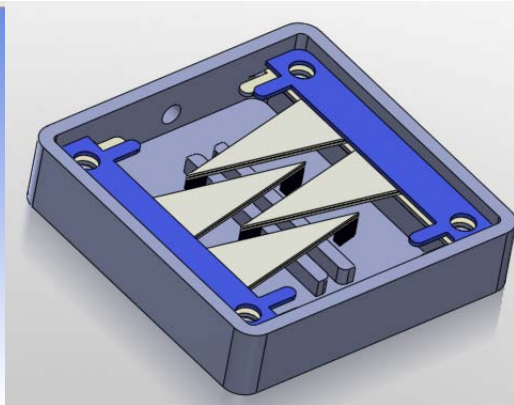
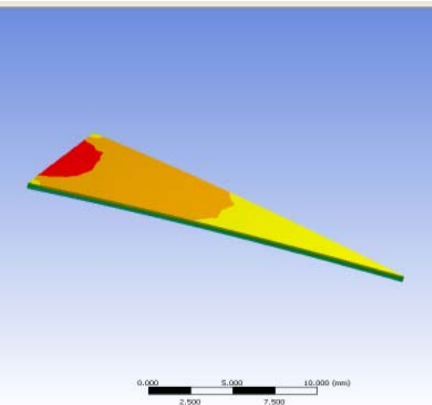


Generatoren – CoolSilicon



- Sinusförmige Anregung
 - Strömungsabriss an der Außenhaut
 - $f_R > 500$ Hz
 - $1\text{ g} \rightarrow 1\text{ }\mu\text{m}$ Amplitude
- Dreieckiger Biegeschwinger
 - 10 mm x 30 mm

Generator	$P_{\max}$ [μW]	U [V]	I [μA]
Einzelelement	104	5.5	19
Vier Elemente	310	4.3	71



ISBN 978-3-00-038084-6

thomas.roedig@ikts.fraunhofer.de
© Fraunhofer

Zusammenfassung

- Vielseitige Anwendungsfelder der Piezokeramik
 - Sensoren, Aktoren, Generatoren und Ultraschall
- Interessante Eigenschaften (geringe Auslenkung und hohe Kräfte) erfordern spezielle feinwerktechnische Konstruktionen
- Trend zur stärkeren technologischen Integration
 - Komposite
 - Dickschichttechnik