

---

# Magnetisch getriebene MEMS Energy Harvester

---

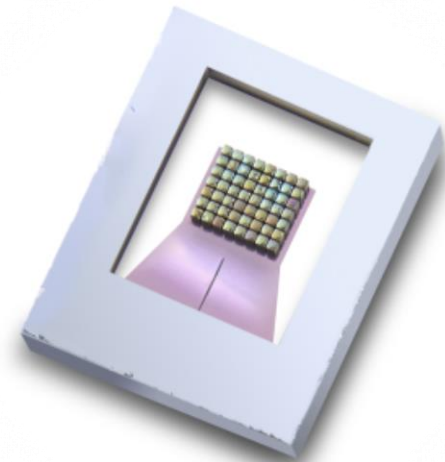
microtec nord

Intelligente Sensorik – drahtlos, autark, vernetzt

Norddeutscher Mikroelektronik Tag

11. September 2019

Marc Alexander Nowak



# Motivation

- Drahtlose, autarke und vernetzte Sensoranwendungen

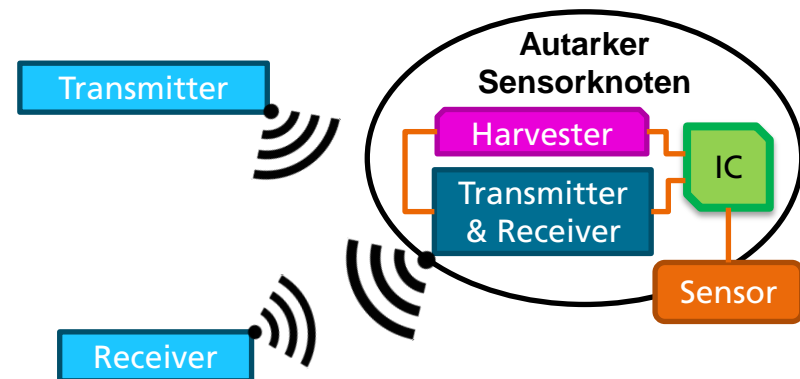
- Smart City
- Industrie 4.0
- Smartdust
- Wearable Devices
- ...



Messe Bozen AG, 2019

- Anforderungen an ein Micro Power Supply

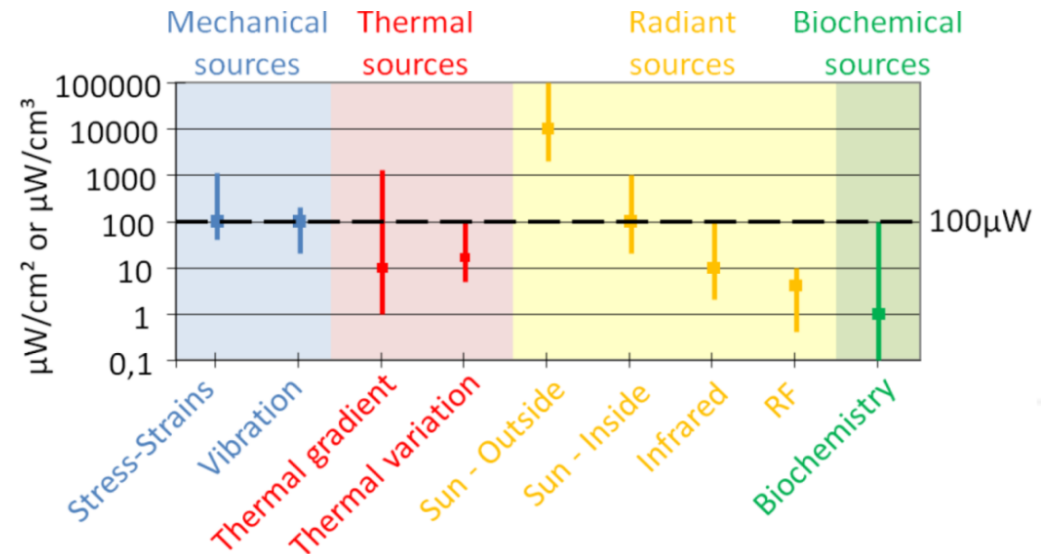
- Autarke Energieversorgung
- Lange Lebensdauer > 10 Jahre
- Wartungsfrei
- Universeller Einsatzbereich



# Energy Harvesting

- Gewinnung von elektrischer Energie aus verschiedenen Quellen wie:

- Solarenergie
- Umgebungstemperatur
- Vibrationen
- Luftströmungen
- Biochemische Energie



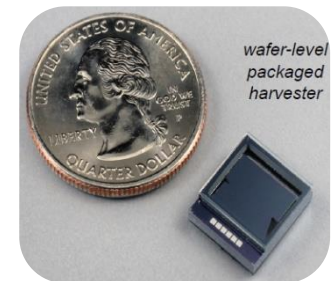
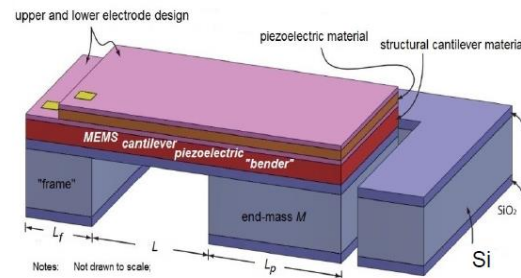
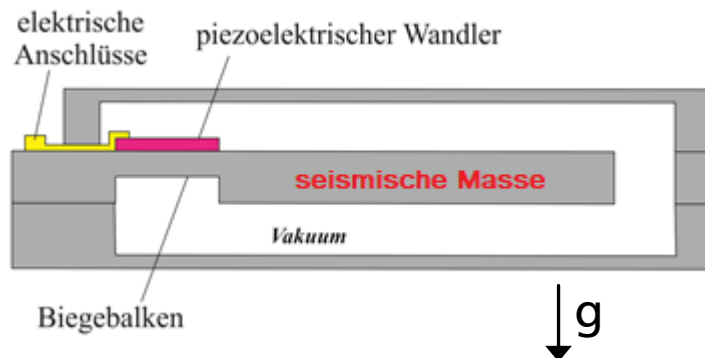
M.Lallart, "Small-Scale Energy Harvesting", 2016

- MEMS Energy Harvester

- Hohe Energieausbeute
- Breitbandige Anregung
- Miniaturisierung der Bauteilgröße
- reproduzierbar und kostengünstig

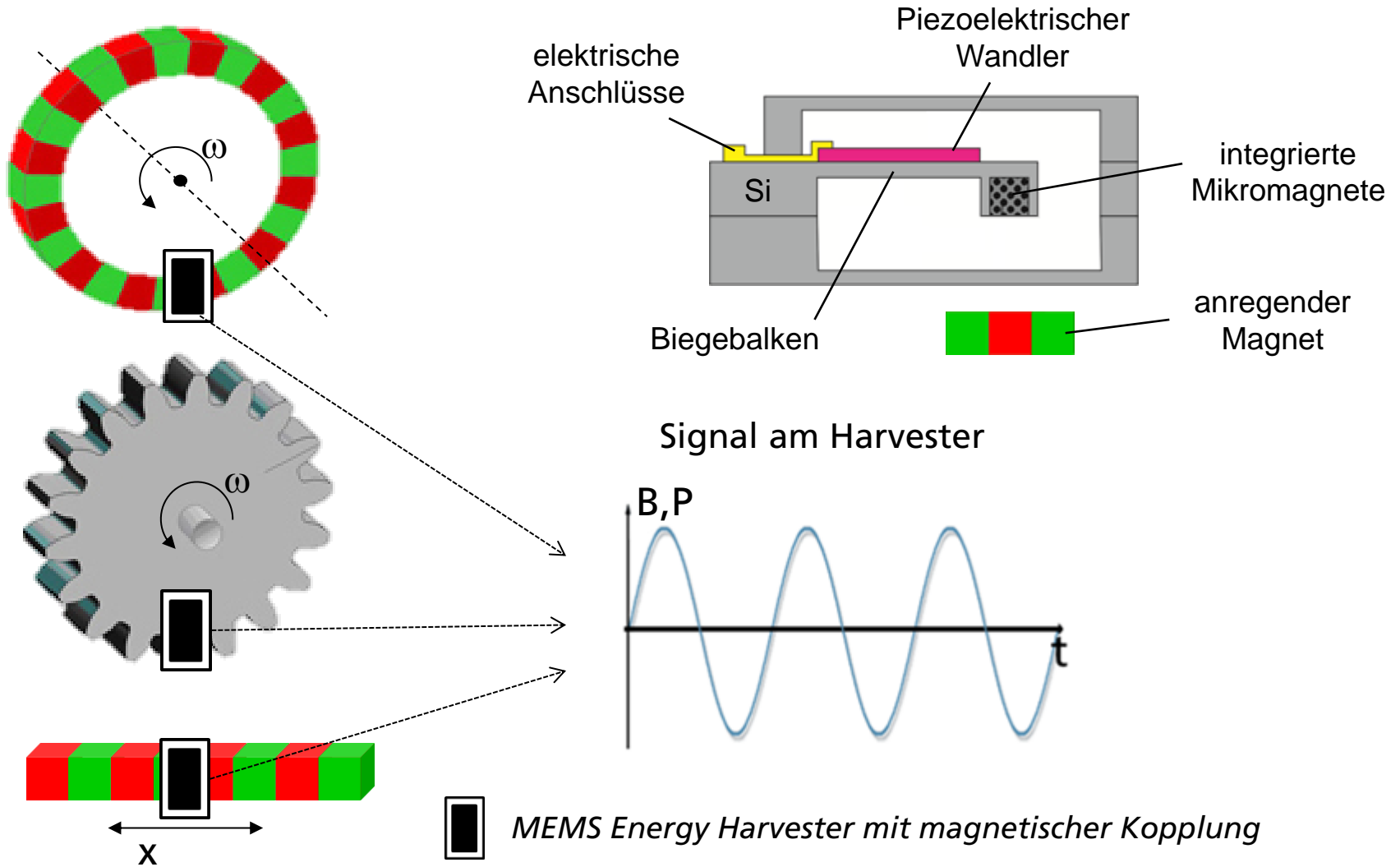
# MEMS Energy Harvester

- MEMS-Vibrations-Harvester
  - Anregung durch Vibration & Schock
  - Gute Energieausbeute nur in Resonanz
  - Miniaturisierung der seismischen Masse problematisch (geringe Dichte von Silizium)

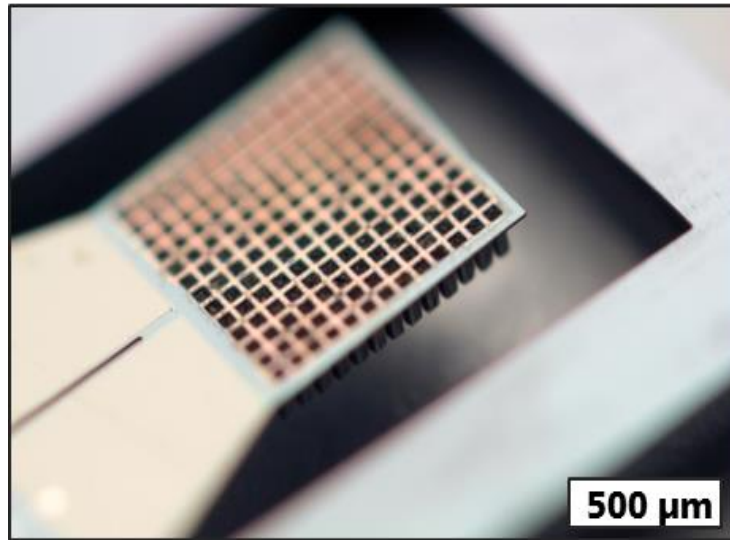


*Piezoelektrischer Vibrations-Harvester von MicroGen, ca.  $65 \mu\text{W} \times \text{cm}^{-2}$  bei 1 g in Resonanz bei 100 Hz. (Datenblatt BOLT-R0100)*

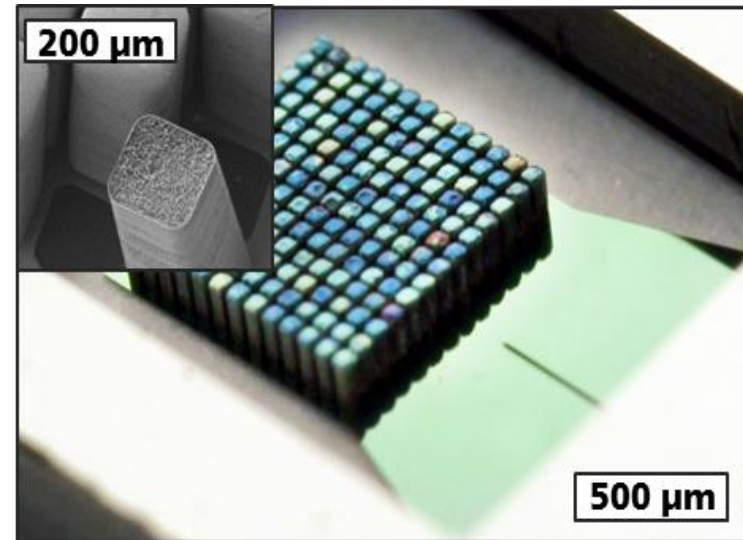
# Magnetisch gekoppelter MEMS Energy Harvester



# MEMS Energy Harvester @ ISIT



*Vorderseite – MEMS-Harvester  
2 μm AlN auf 30 μm Poly-Si*

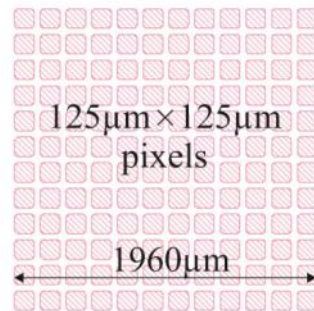
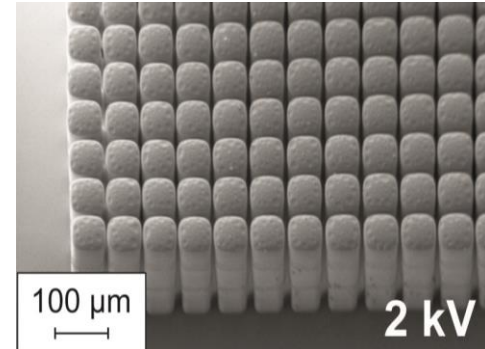
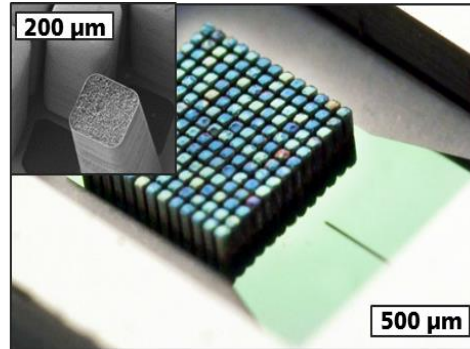
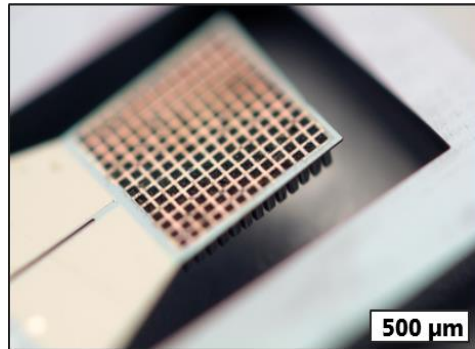


*Rückseite  
NdFeB permanent Magnete*

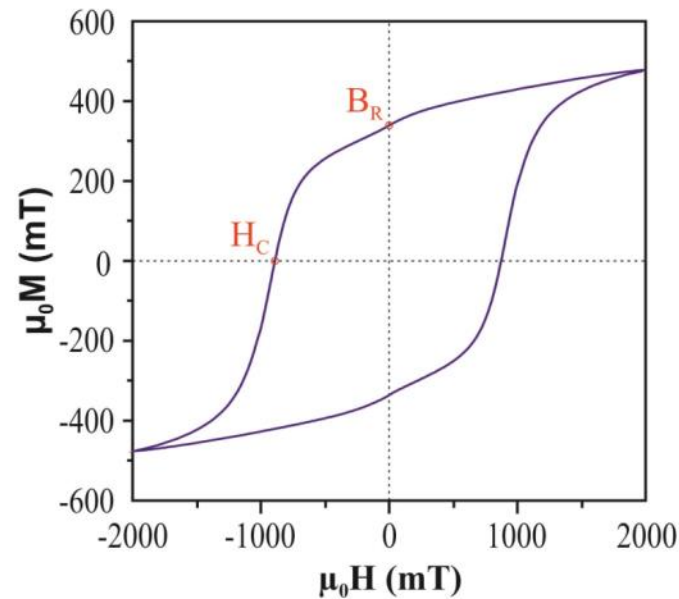
- Integrierte drei-dimensionale Magnetpartikelstrukturen
- Kompaktes Bauteil-Design zur multimodale Anregung
- Elektrische Leistung  $> 666 \mu\text{W} \times \text{cm}^{-2}$  in Resonanz

*Fabian Lofink et al., Transducers 2017, Taiwan*

# MEMS Energy Harvester @ ISIT

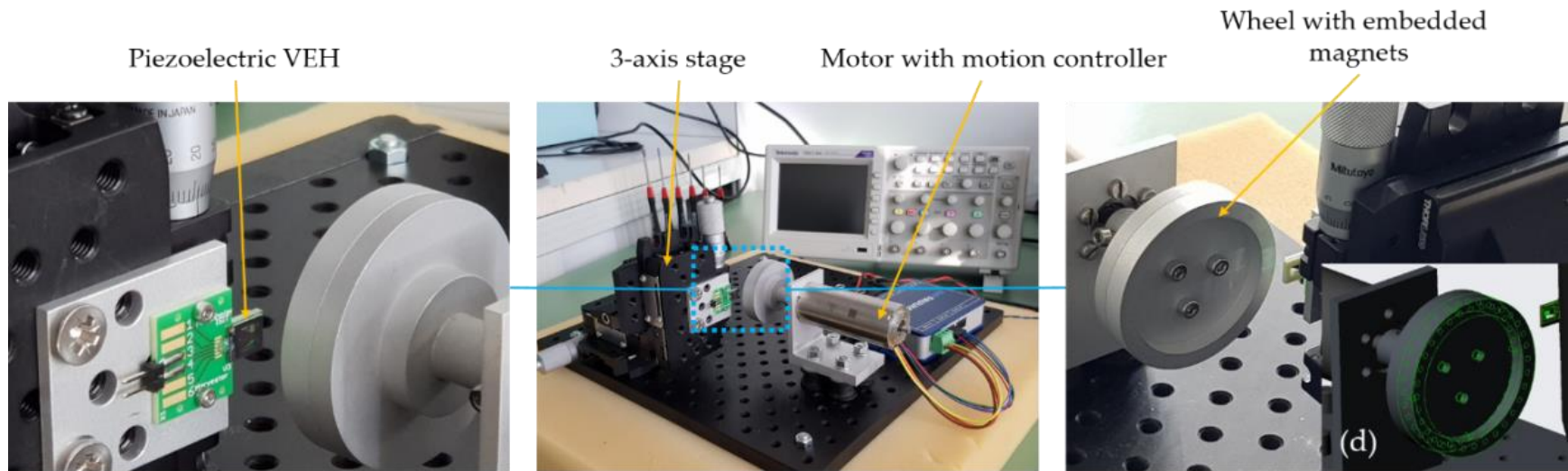


Mikromagnete Array

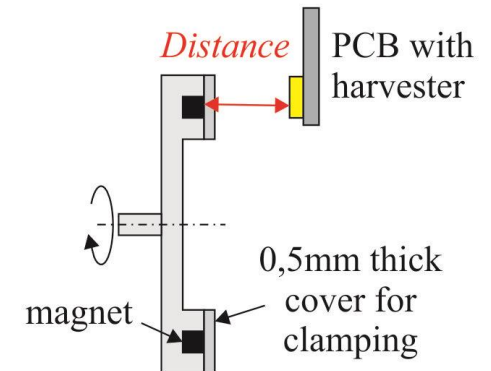
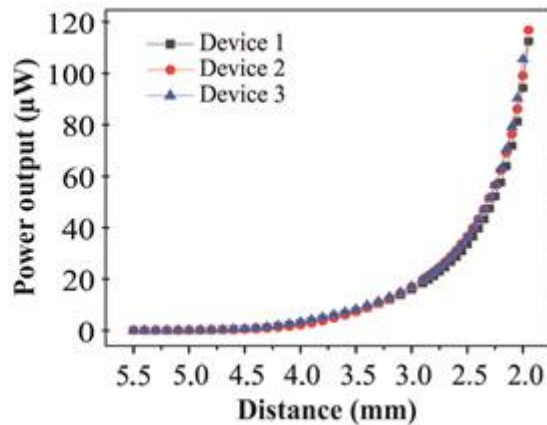
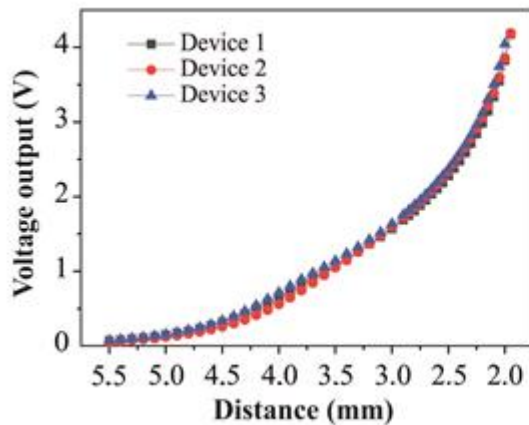


$B_r = 340 \text{ mT}$   
 $\mu_0 H_c = 890 \text{ mT}$

# Messaufbau

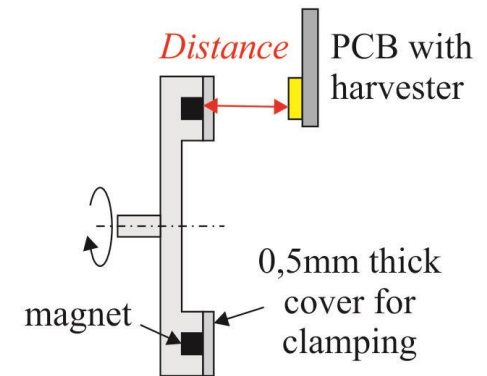
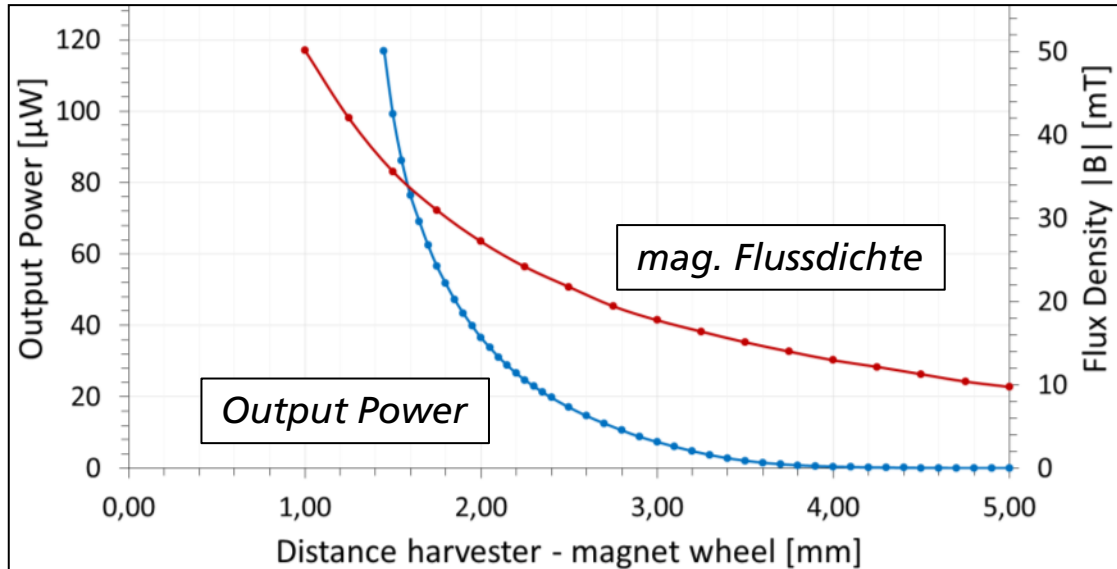


## Polrad-Messaufbau



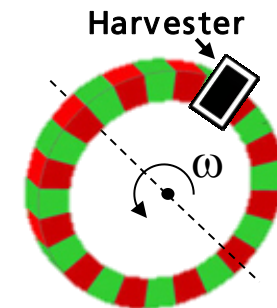


# Erste Ergebnisse



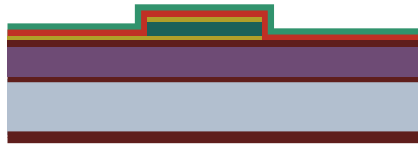
## MEMS Energy Harvester – Ausgangsleistung

- 120 µW (> 666 µW/cm<sup>2</sup>) in Resonanz (1,5 mm Abstand) @ 150 kΩ Lastwiderstand

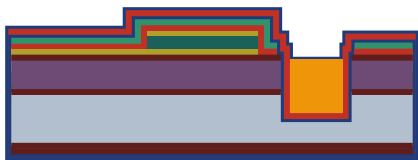


Versuchsaufbau mit rotierendem Polrad.

# Herstellung: MEMS Energy Harvester



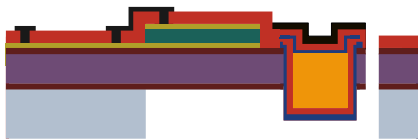
- Prozessierung des Piezoaktors (AlN / Poly-Si-Stack) auf einem 200 mm Si-Substrat.



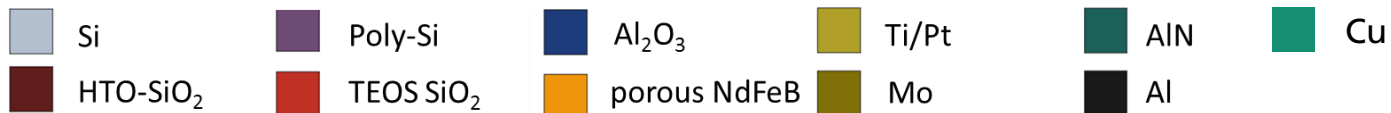
- Ätzen von Mikroformen im Si mittels DRIE und Erzeugung der NdFeB-Mikromagnete durch Agglomeration von Partikeln mittels ALD.



- Versiegelung der Mikromagnete und elektrische Kontaktierung des Piezoaktors durch Al-Zuleitungen.

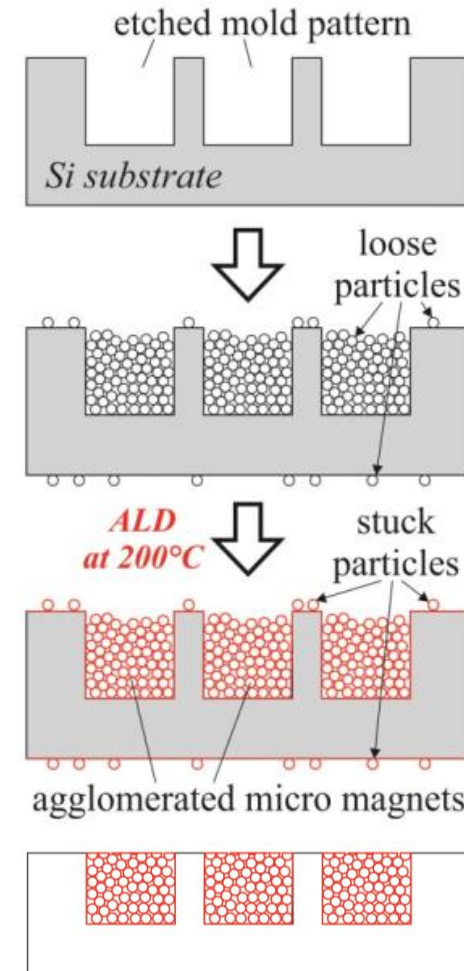


- Freistellen der Harvester-Struktur durch Si-Ätzen mittels DRIE von Vorder- und Rückseite.



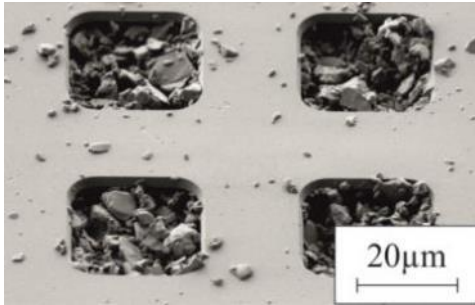
# Herstellung: Integrierte Mikromagnete

- Am ISIT entwickelte Technologie zur Integration magnetischer Materialien auf Si-Substraten
  - Agglomerieren der Mikropartikel in Siliziumwaferformen durch ALD ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  bei  $200\text{ }^\circ\text{C}$ )
  - Poröse mikrostrukturierte 3D-Materialien mit hoher Temperaturstabilität
  - Große Variabilität in der Materialauswahl
- Mikromagnete mit Abmessungen von  $50\text{ }\mu\text{m}$  bis  $2\text{ mm}$  (NdFeB-Pulver)

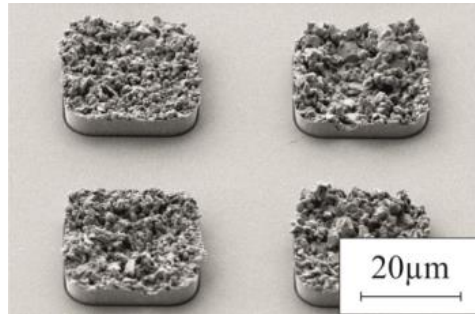


*Thomas Lisec et al., Transducers 2019, Berlin*

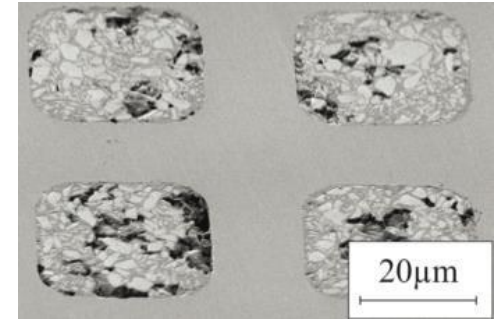
# NdFeB Pulver Magnete



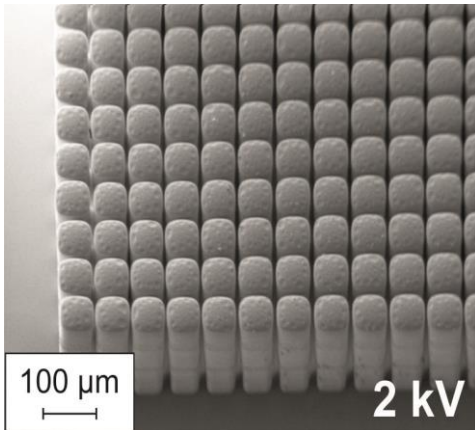
teilweise gefüllte Kavitäten



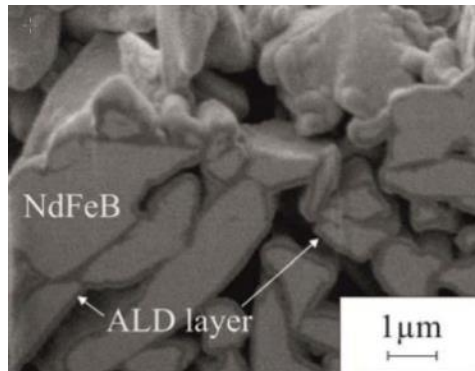
überfüllt + agglomeriert



nach Grinding/Cleaning

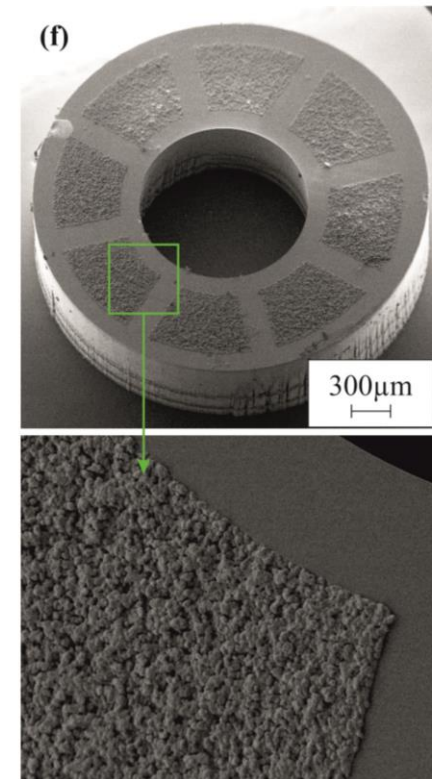
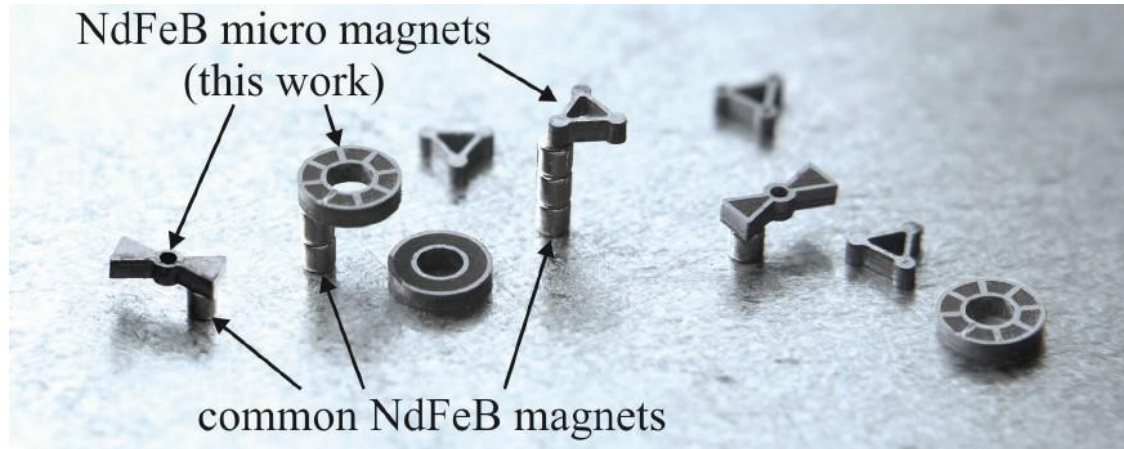


Mikromagnete Array



- agglomeriertes NdFeB-Pulver
- Partikelgröße: ca. 5 μm
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Schichtdicke: 70 nm

# Mikrostrukturierte Pulver-basierte permanent Magnete



*Thomas Lisek et al.,  
Transducers 2019, Berlin*

# Zusammenfassung

---

- Piezoelektrischer MEMS Energy Harvester mit magnetischer Kopplung
  - Prozessintegration von NdFeB-Mikromagneten
  - Rotationsenergie berührungsfrei nutzbar
  - Energieausbeute  $666,7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- Steigerung der Performance
  - Powder-MEMS-Technologie
  - Optimierte Harvester-Designs
- Breitbandiger, multimodaler Betrieb
  - Impulsförmige Anregung
  - „Frequency-up Conversion“



*Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!*

