

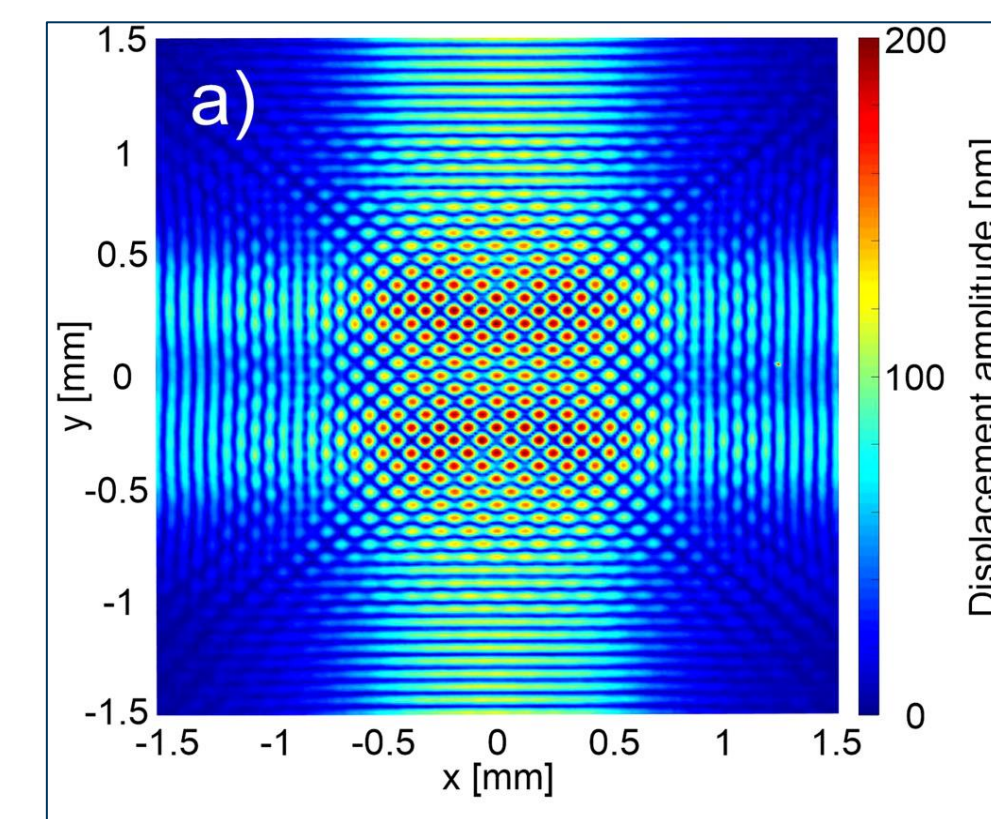
Anwendungen der Frequenzverschobenen und Phasenmodulierten Digitalen Holografie

Florian Dötzer*, Marie Mannagottera*, Stefan Sinzinger*

* Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau

Motivation

- Akustische Oberflächenwellen (SAW) & MEMS: hohe Frequenzen, niedrige Auslenkungen → Messung anspruchsvoll
 - Typischerweise mithilfe Laser-Doppler-Vibrometer (LDV): hohe Sensitivität, aber punktwises Scannen zeitintensiv
- Holografische Vibrometrie: orts aufgelöste Charakterisierung von Oberflächenschwingungen auf der Nano- und Pikoskala [1].
 - Basiert ebenfalls auf Interferometrie & Doppler-Verschiebung bei Reflexion an bewegtem oder schwingendem Objekt
 - Vollflächige Messung → kurze Messdauer → Messungen dadurch auch in Produktion oder Qualitätskontrolle möglich

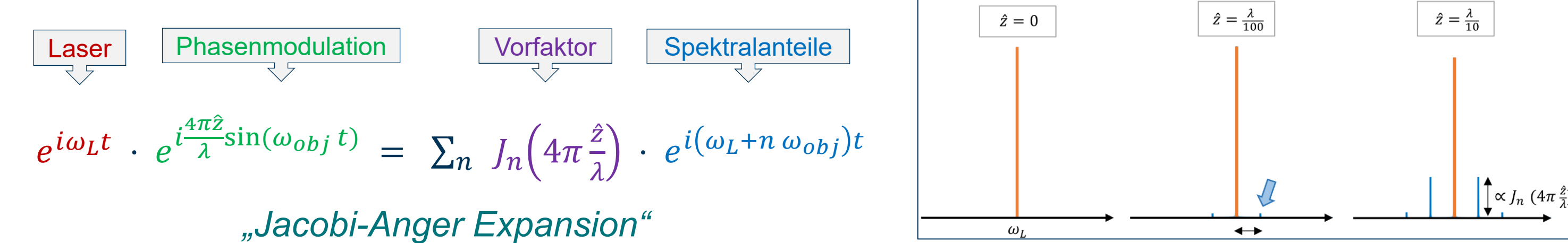


LDV-Messung: SAW bei 32.4 MHz in Mikrofluidik-Chip [2]

Messdauer ca. 1 Woche

Messprinzip

Reflexion an schwingendem Objekt entspricht Phasenmodulation, die Seitenbänder bei $\omega_L + n \omega_{obj}$ erzeugt:

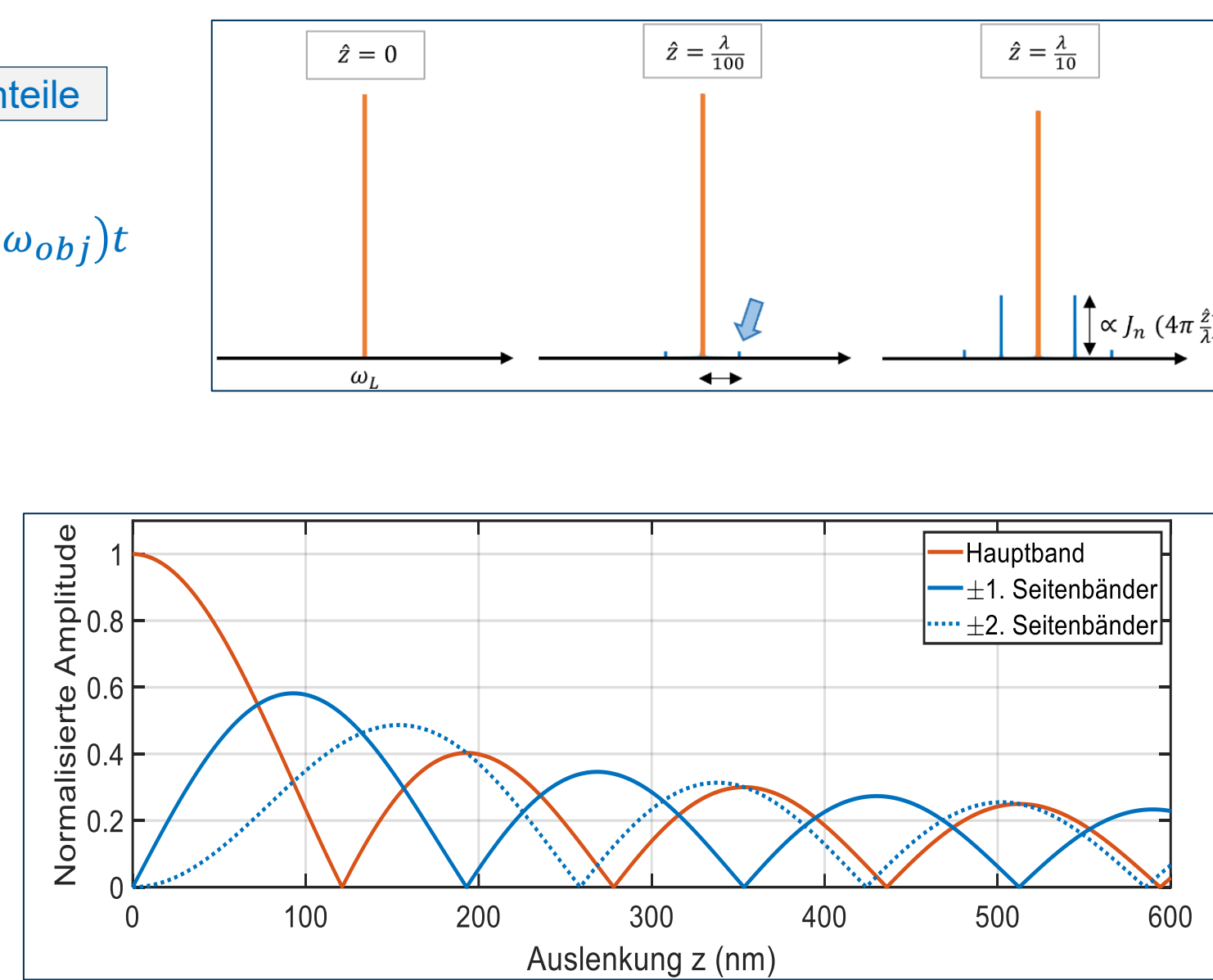


Objektauslenkung in Amplitudenfaktoren der verschiedenen Spektralkomponenten kodiert
→ Gegeben durch Besselfunktionen J_m

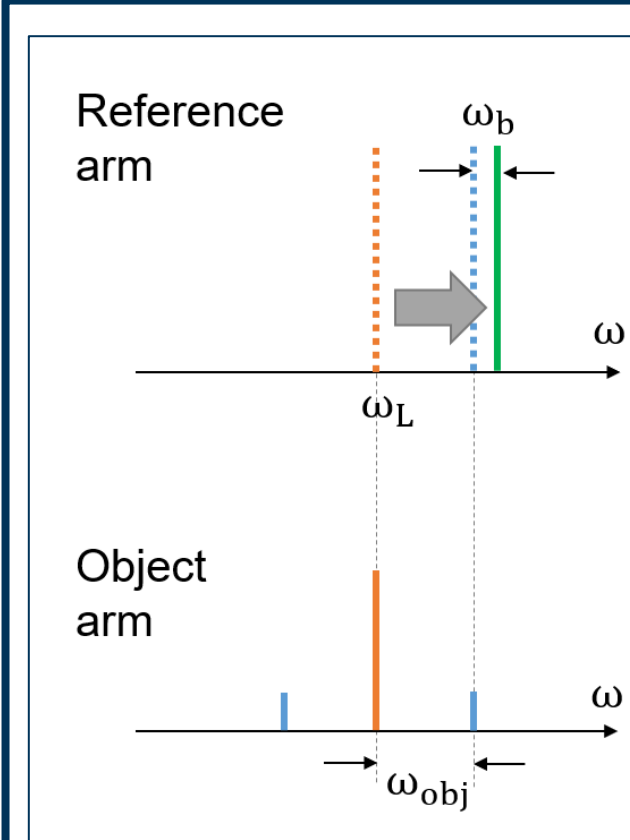
Auslenkungen $< \approx 10$ nm

→ J_0 nahe bei 1 & $J_n \approx 0$ für $n \geq 2$

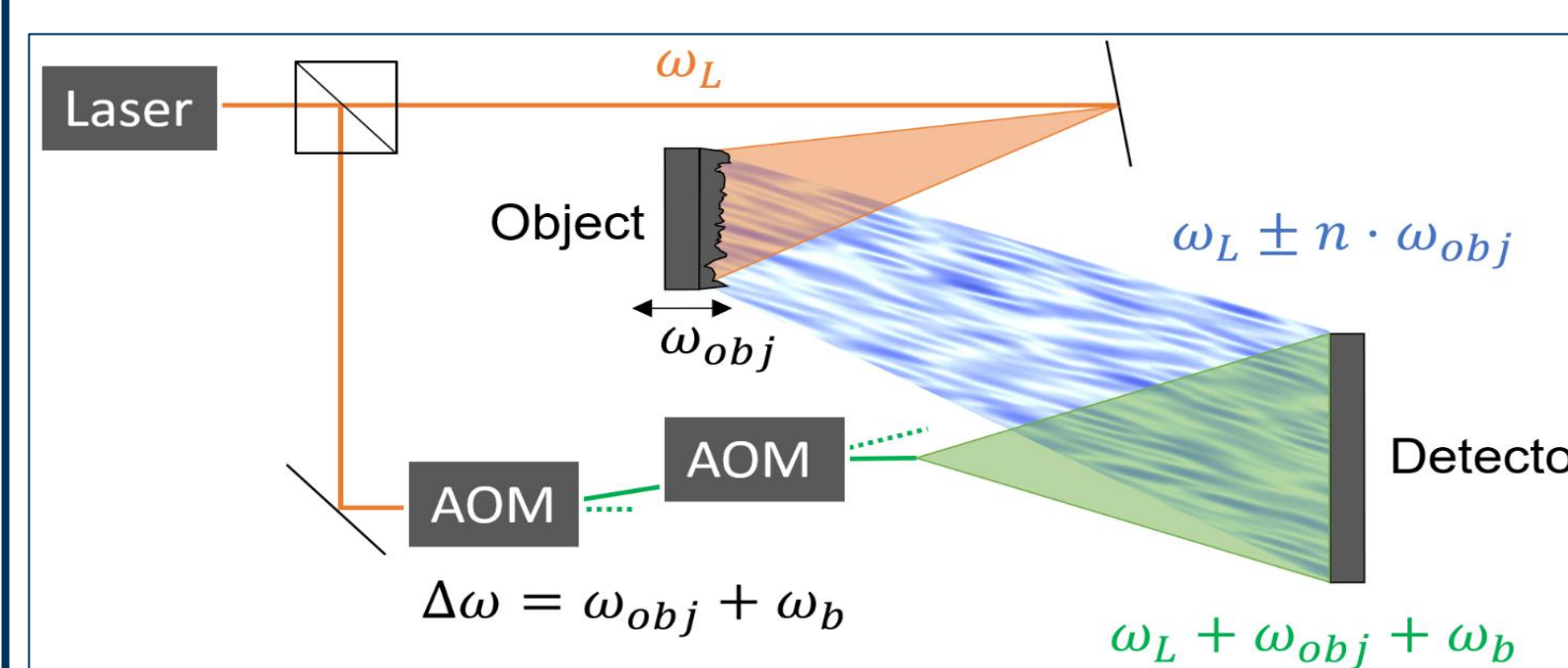
→ J_1 aber ungefähr proportional zu Auslenkung \hat{z}_{obj}



Umsetzung



- Laserfrequenz im Referenzarm um ω_{obj} verschieben → (Statische) Interferenz mit 1. Seitenband
 - Auslenkungen im pm-Bereich → Extrem schwaches Signal
- Üblicher Trick: Signal modulieren → „Lock-in“ Detektion
- Umsetzung: Verschiebung um $\omega_{obj} + \omega_b$ → Schwebung mit $\omega_b < \text{Framerate} / 2$



Hologramm der Spektralkomponente bei $\omega_L \pm \omega_{obj}$ & Rekonstruktion des Bildes in Objektebene durch numerische Fresnel-Rückpropagation
→ Räumliche Verteilung der Seitenbandamplitude & damit Auslenkung über Objektoberfläche.

Robustheit gegenüber parasitärer Vibrationen

Bewegung zwischen Objekt und Interferometer

→ Doppler-Verschiebung

$$\Delta f \approx \frac{2v}{c} f \quad \text{mit } f \approx 500 \text{ THz} \text{ \& } v = 1 \text{ mm/s}$$

→ 3.3 kHz Frequenzverschiebung ☹️

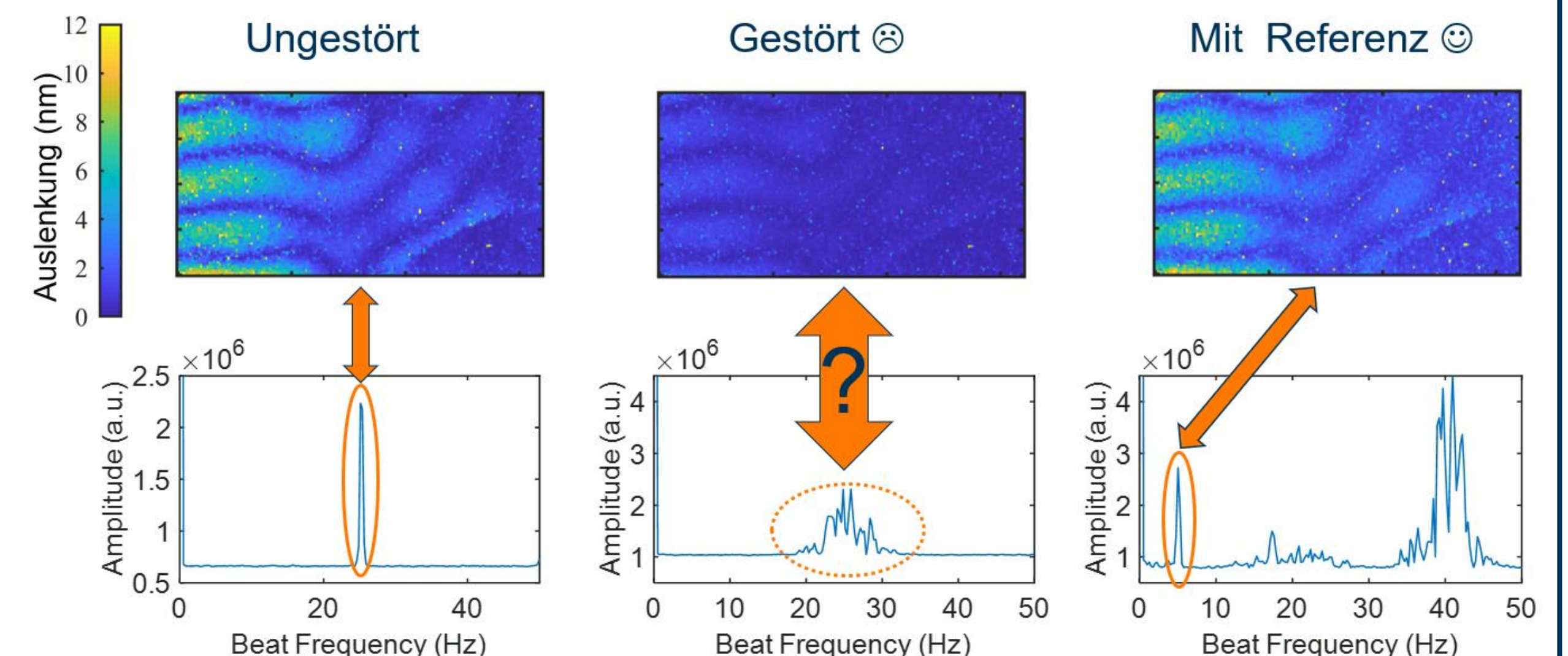
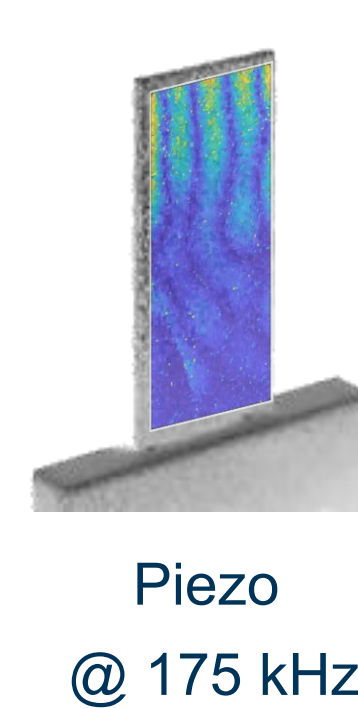
Idee: $\Delta f \propto f$ → Kleinere Frequenzen nutzen!

Akustische Frequenzen \ll Optische Frequenzen

z.B. mit $f = 32$ MHz und $v = 1$ mm/s

→ 0.2 mHz Frequenzverschiebung 😊

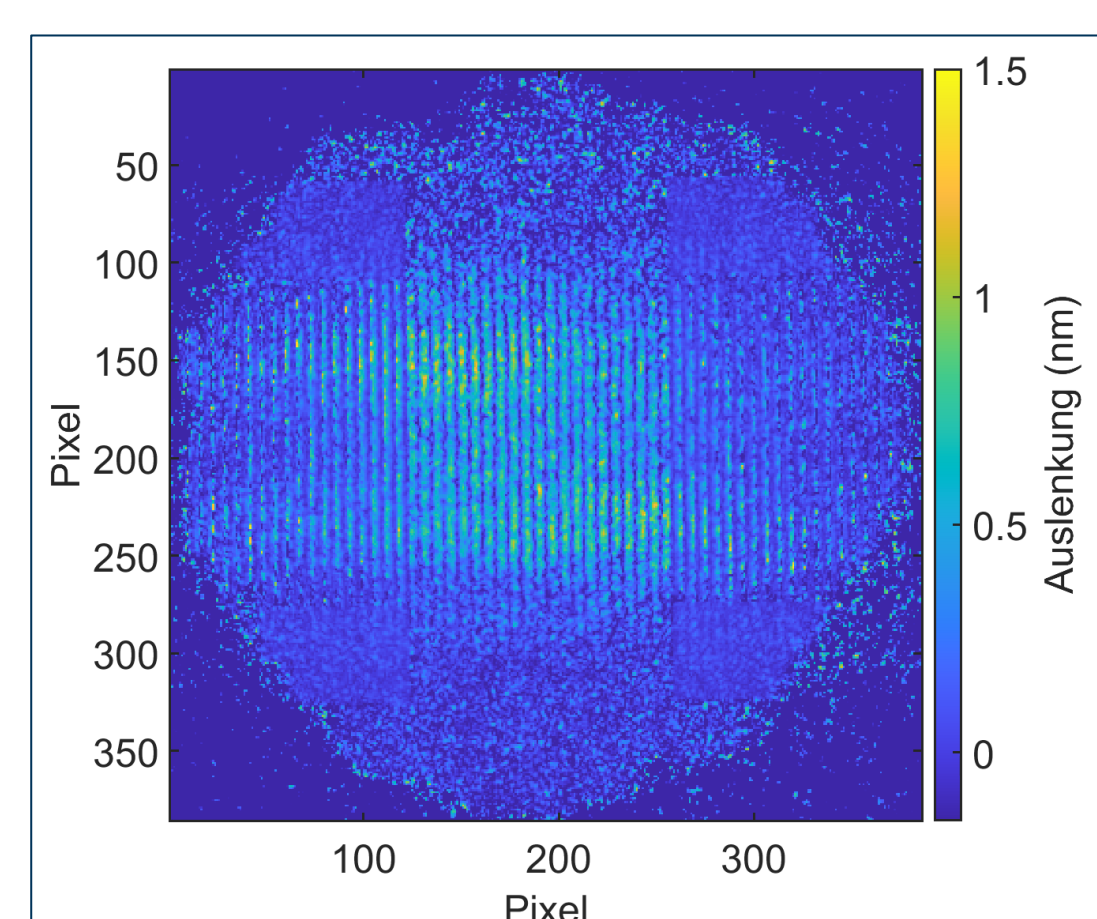
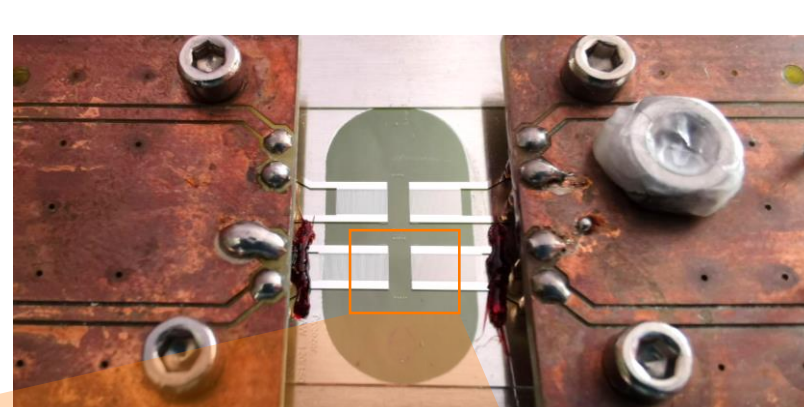
Umsetzung:
Künstliche akustische Referenzschwingung überlagern
Interferenz mit Objektschwingung
→ Schwebungsfrequenz annähernd invariant bei Relativbewegung!



Anwendungsbeispiele

SAW Mikrofluidik-Chips

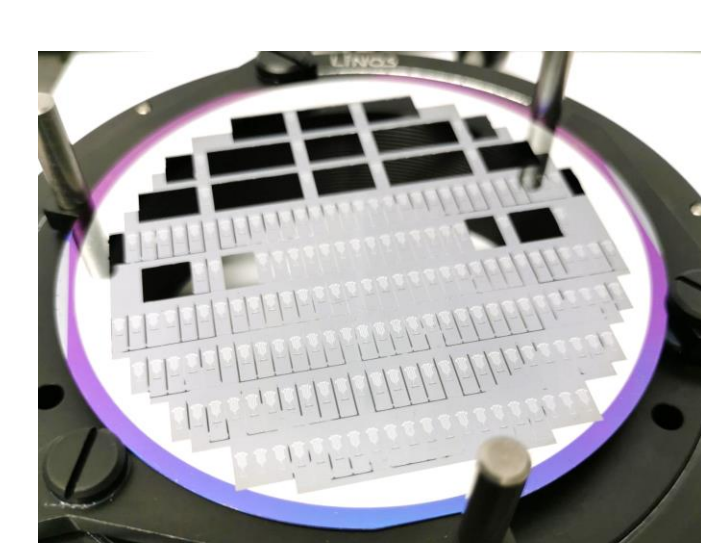
SAW-Anregung @ 25.7 MHz durch IDT-Elektroden auf piezoelektrischem Substrat



- 2048 x 2048 px²
- 2x 200 Bilder @ 40 fps
- 10 sec

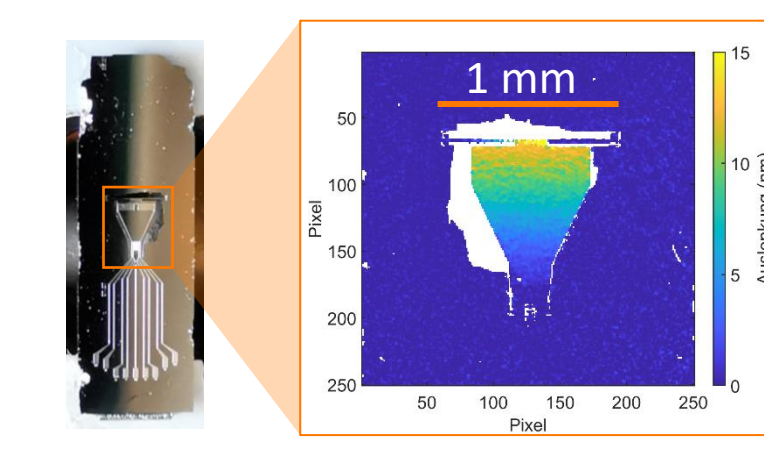
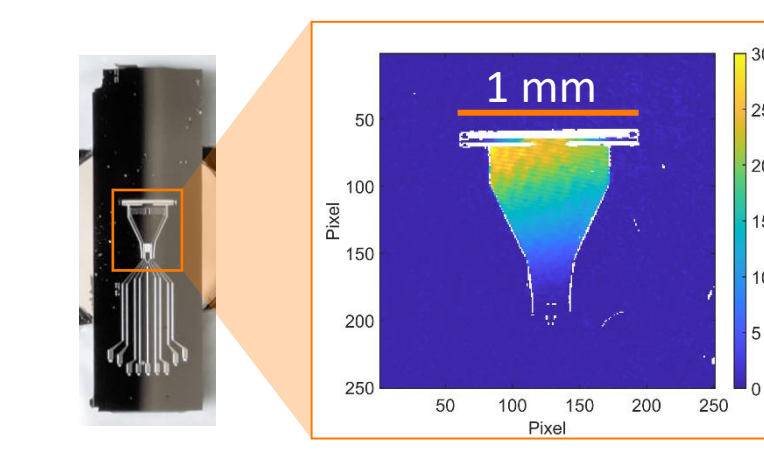
Stehendes Wellenfeld zwischen den beiden Schallwandlern

MEMS-Resonatoren

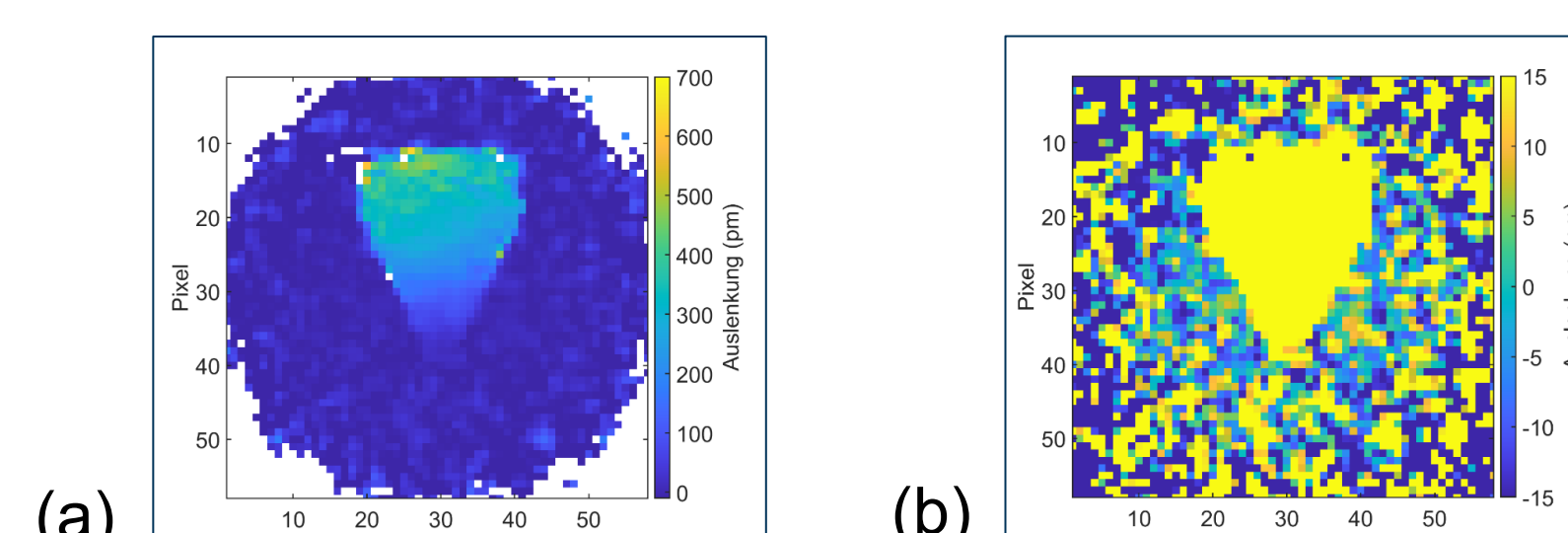


nicht defekt → $f = 7,8$ kHz

defekt → $f = 4$ kHz



z.B. Schadensdetektion über veränderte Resonanzfrequenz



Auslenkung eines MEMS-Resonators (a), vergrößerter Farbbalken zur Beurteilung des Grundrauschens (b)

- 512 x 512 px²
- 2x 6400 Bilder @ 100 fps
- 128 sec

Rauschhintergrund ≈ 10 pm

Literaturnachweise

[1] N. Verrier et al., Full Field Holographic Vibrometry at Ultimate Limits, New Techniques in Digital Holography, 255-293 (2015)

[2] R. Weser et al., Three-dimensional heating and patterning dynamics of particles in microscale acoustic tweezers, Lab Chip, (2022)

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Prof. Dr. Claudia Lenk und Dr. Jörg König für die Bereitstellung der MEMS-Resonatoren und des SAW-Chips als Messobjekte.

Fakultät Maschinenbau
Fachgebiet Technische Optik
Prof. Dr. Stefan Sinzinger

Florian Dötzer, M.Sc. (hon.)
+49 3677 69-1805
florian.doetzer@tu-ilmenau.de
www.tu-ilmenau.de/optik



th
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU