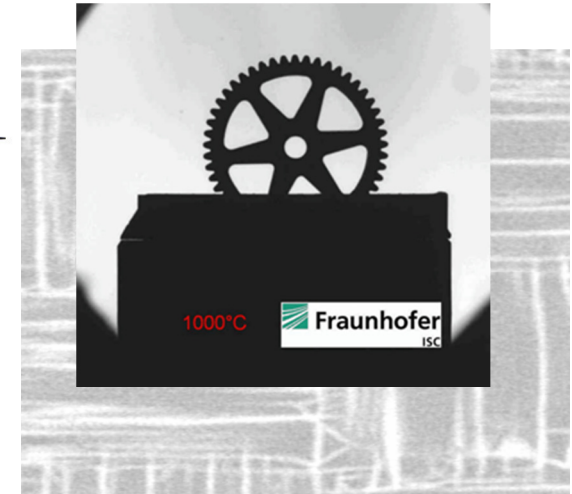
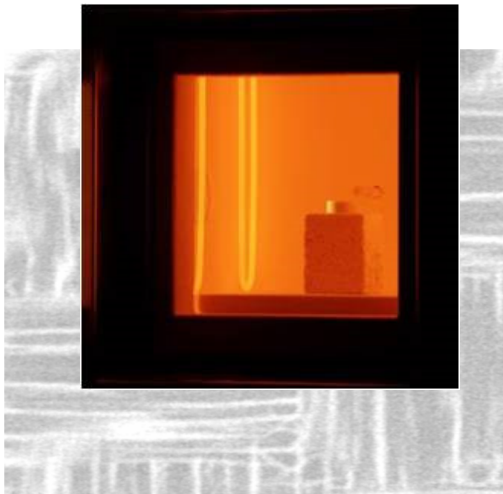



# Bestimmung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften mit der ThermoOptischen Messanlage „TOM\_wave“

Gerhard Seifert, Holger Friedrich, Jens Baber, Friedrich Raether  
Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL



# Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- Kurzvorstellung des Zentrums HTL
- Messung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften
- Konzept TOM\_wave
- Aktuelle Messbeispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

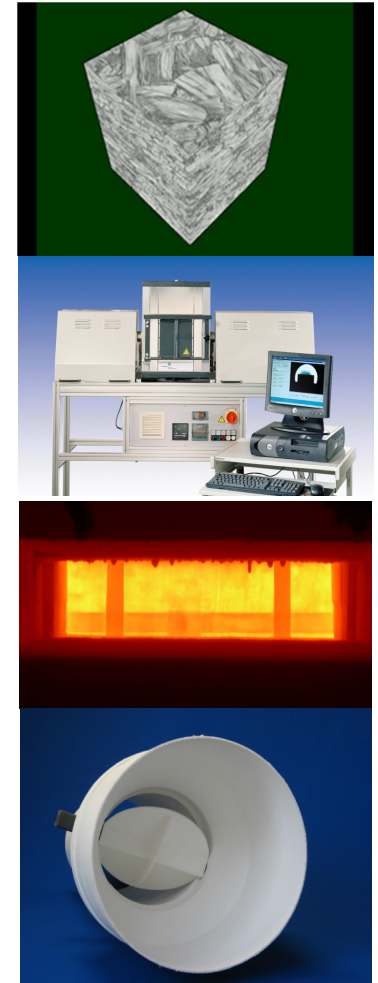
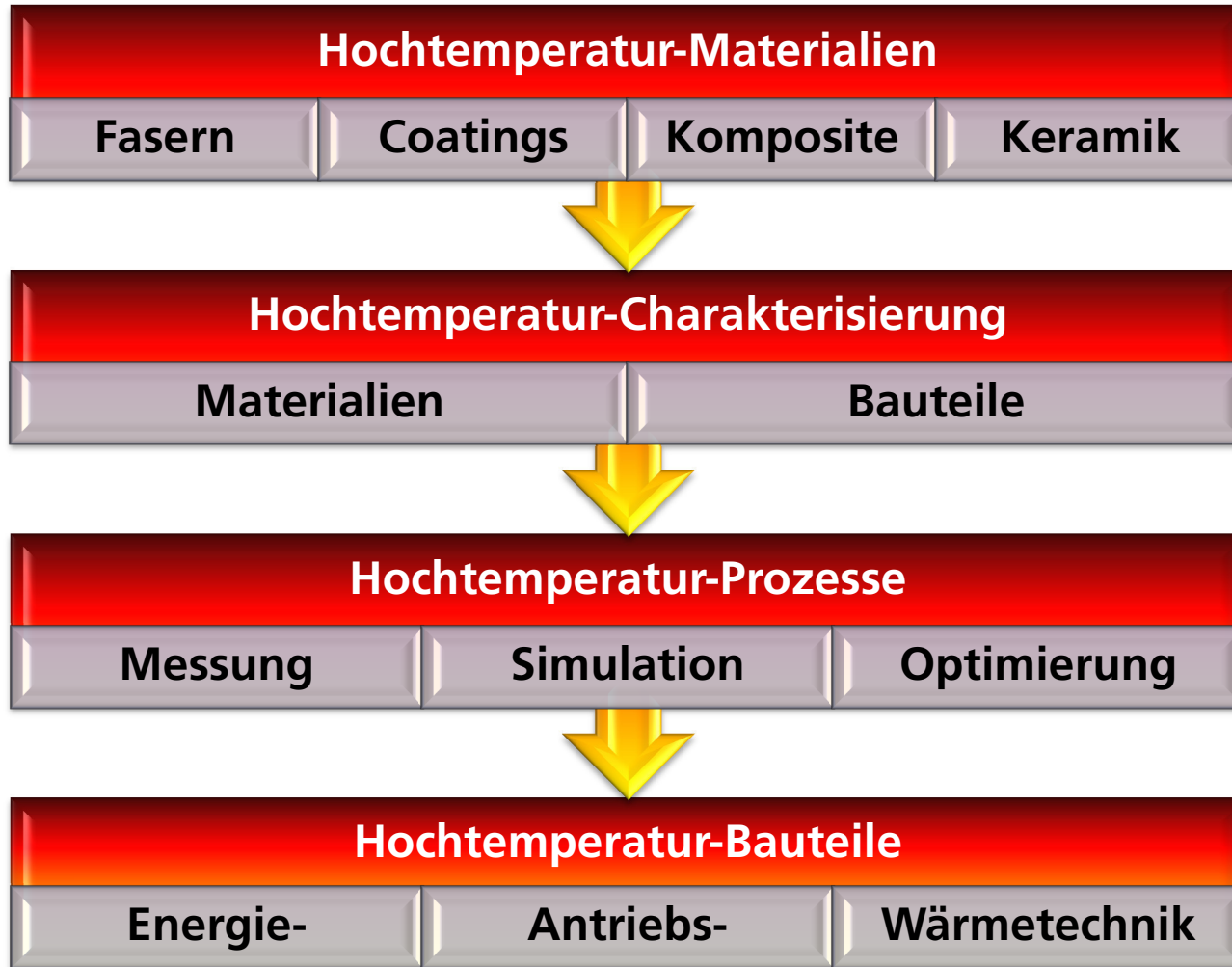
 Fraunhofer  
HTL

# Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL




- **Gründung:** 01.2012
- **Mutterinstitut:** Fraunhofer ISC Würzburg
- **Mitarbeiter:** 111 (53 PJ)
- **Laborfläche:** 2000 m<sup>2</sup>
- **Haushalt 2018:** 6,8 Mio. €

# Arbeitsgebiete des Zentrums HTL



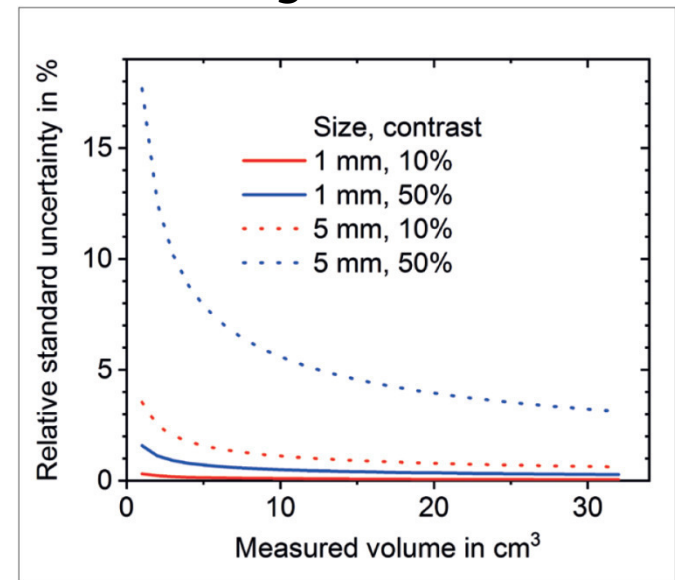
# Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- Kurzvorstellung des Zentrums HTL
- Messung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften
- Konzept TOM\_wave
- Aktuelle Messbeispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

 Fraunhofer  
HTL

# Anforderungen an Hochtemperatur-Messverfahren

- **Definierte Probentemperatur**
  - Muffel / geschlossene Tiegel / kleine Durchführungen
- **Kontrollierte Ofenatmosphäre**
  - Vermeidung von z.B. Korrosionsschichten, die die Emissivität der Probe verändern
- **Minimale chemische oder mechanische Wechselwirkung zwischen Probe und Messanlage**
  - berührungsfreie Verfahren vorteilhaft
- **ausreichende Probengröße für mittlere Materialeigenschaften**
  - Bsp.: grobkörniges FF-Material
- **wünschenswert (wegen Aufheizdauer):**
  - multiple Messung (mehrere Proben / Messgrößen)



# Thermo-Optische Messanlagen am Fraunhofer-Zentrum HTL

- Berührungsfreies optisches Messprinzip
  - Dimensionsänderungen, Verformung
  - Kriechen, Anbacken, Benetzung
- Weitere Messverfahren integriert, z.B.
  - Gewichtsänderung, Schallemission
  - Thermoschock, Wärmeleitfähigkeit...



**TOM\_ac**  
Kontrollierte  
Atmosphäre  
bis 2200°C

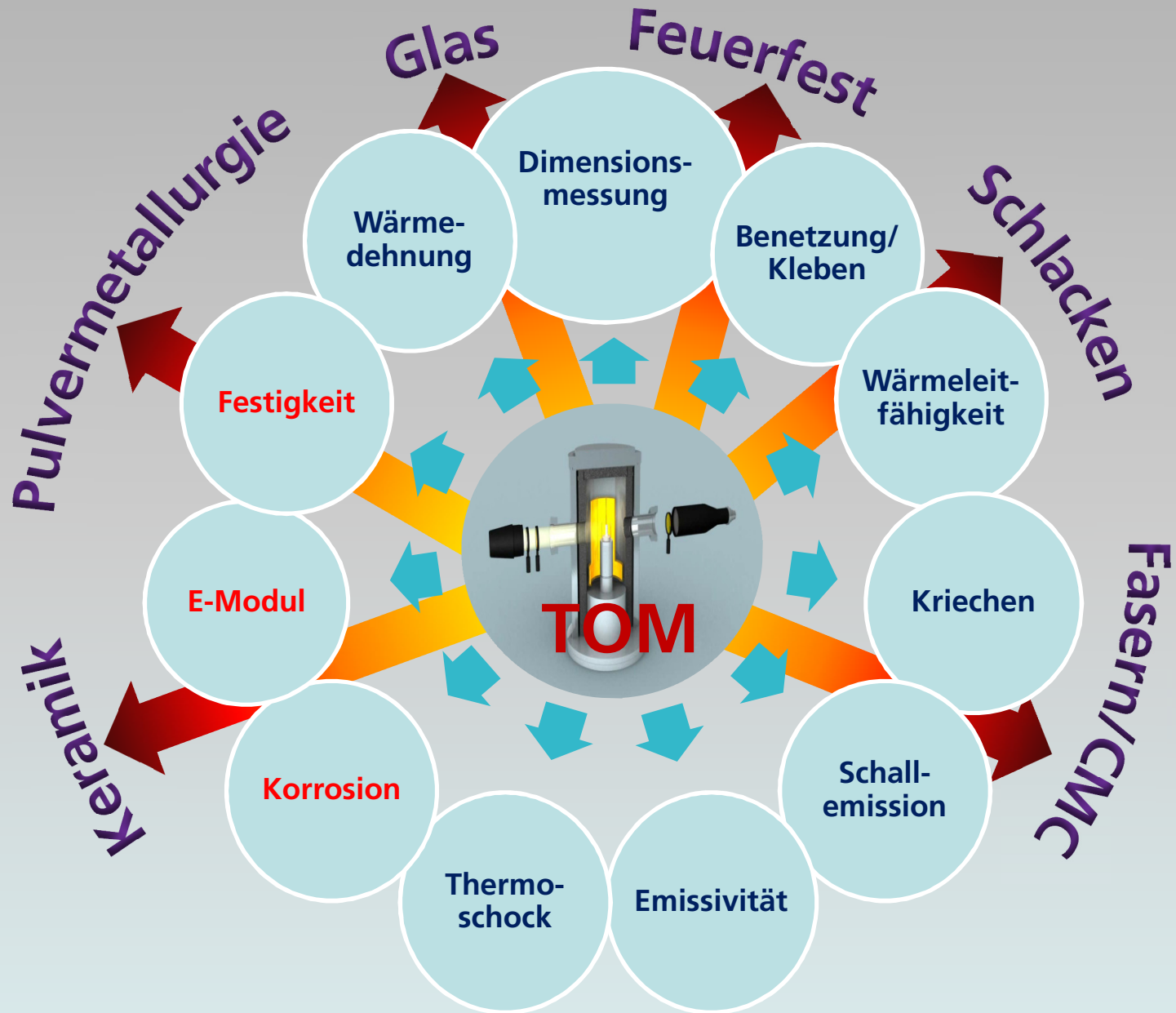


**TOM\_air**  
Messung an Luft bis 1750°C



**TOM\_wave**  
Luft und Inertgas  
bis 1800°C


# Übersicht: Messmöglichkeiten aktueller TOM-Anlagen





# Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- Kurzvorstellung des Zentrums HTL
- Messung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften
- Konzept TOM\_wave
- Aktuelle Messbeispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

 Fraunhofer  
HTL

# TOM\_wave

## Laser (500 W) für:

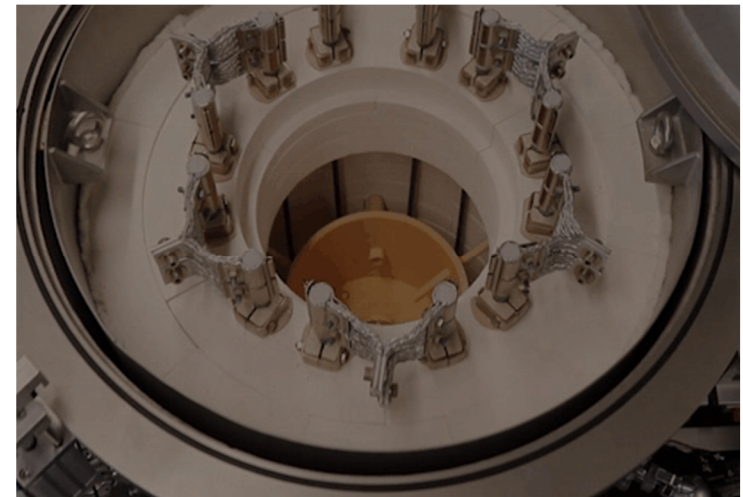
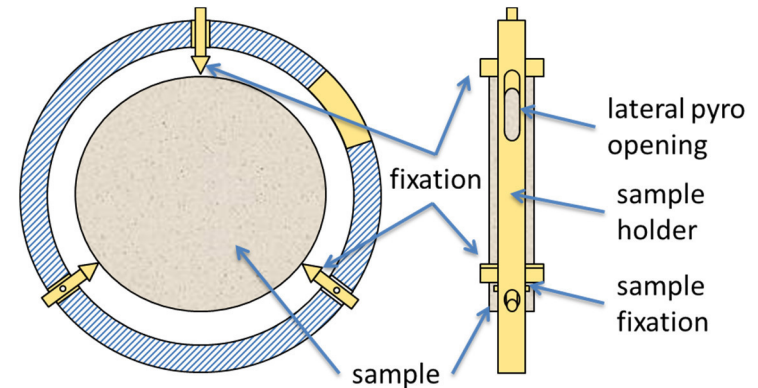
- Thermomechanische Untersuchungen
- Laser-Flash-Messungen
- Eigenschwingungsanalysen

## Ofen für:

- Luft und Inertgase
- Maximaltemperatur 1800°C

## Messaufbau:

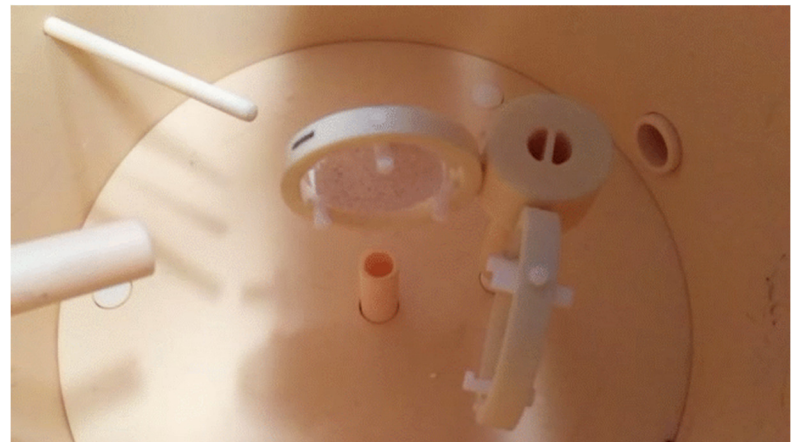
- Spezieller Probenhalter
- Probengröße:
  - bis zu 35 mm Durchmesser
  - bis zu 20 mm Dicke
- Probenwechsler (bis zu 5 Proben)



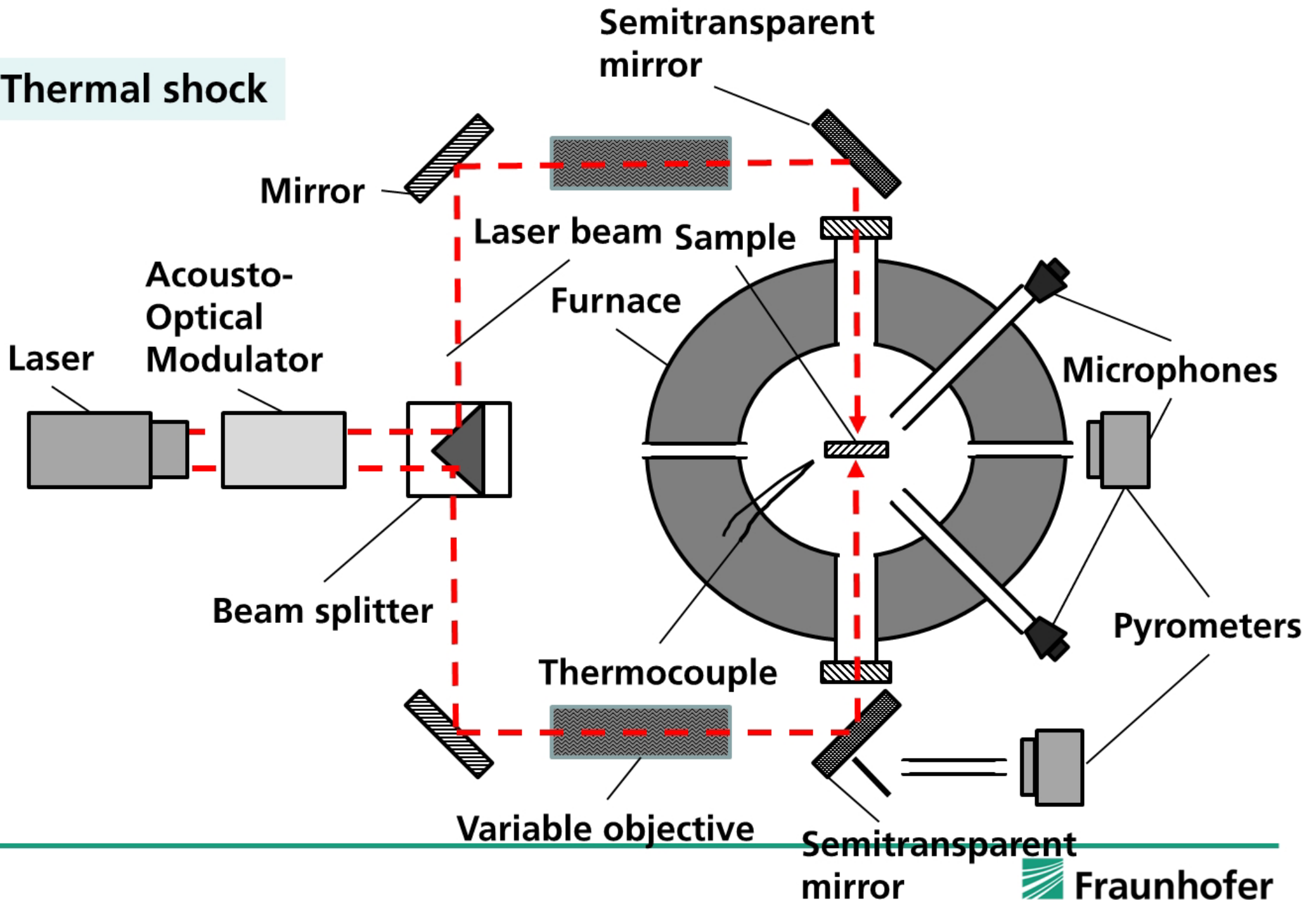
Laser-Anregung in TOM\_wave

# TOM\_wave - Messmethoden und Messgrößen

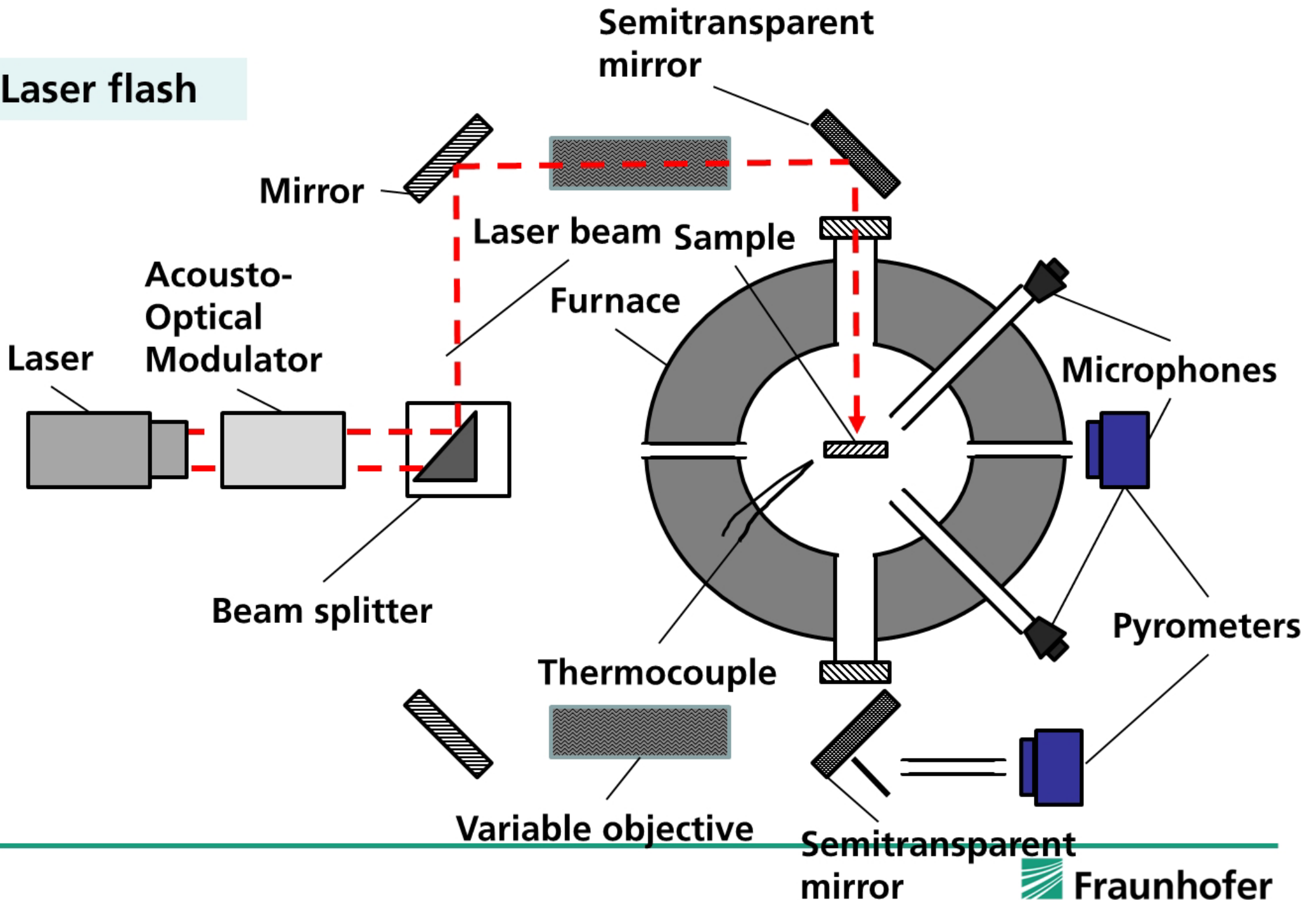
- **Thermoschock und Thermozyklisierung mit einstellbaren Temperaturzyklen**
- **Probenschädigungsanalyse**
  - Schallemission
  - Rissuferreibung
- **Temperaturleitfähigkeit (radial und axial)**
  - Spezielle Laser-Flash Methode
- **HT-Materialeigenschaften wie:**
  - Thermische Ausdehnung
  - E-Modul
  - Emissivität



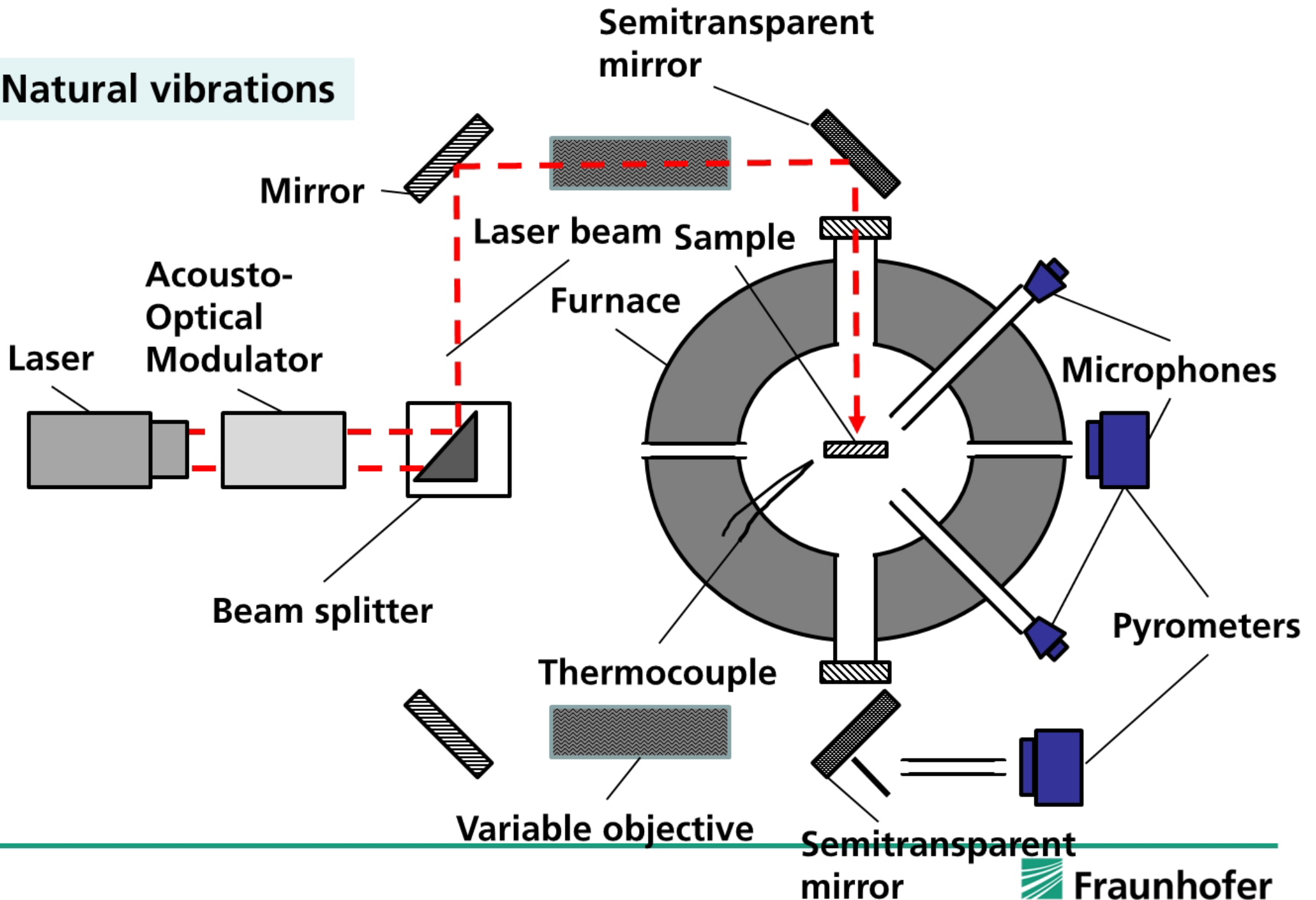
# Thermal shock



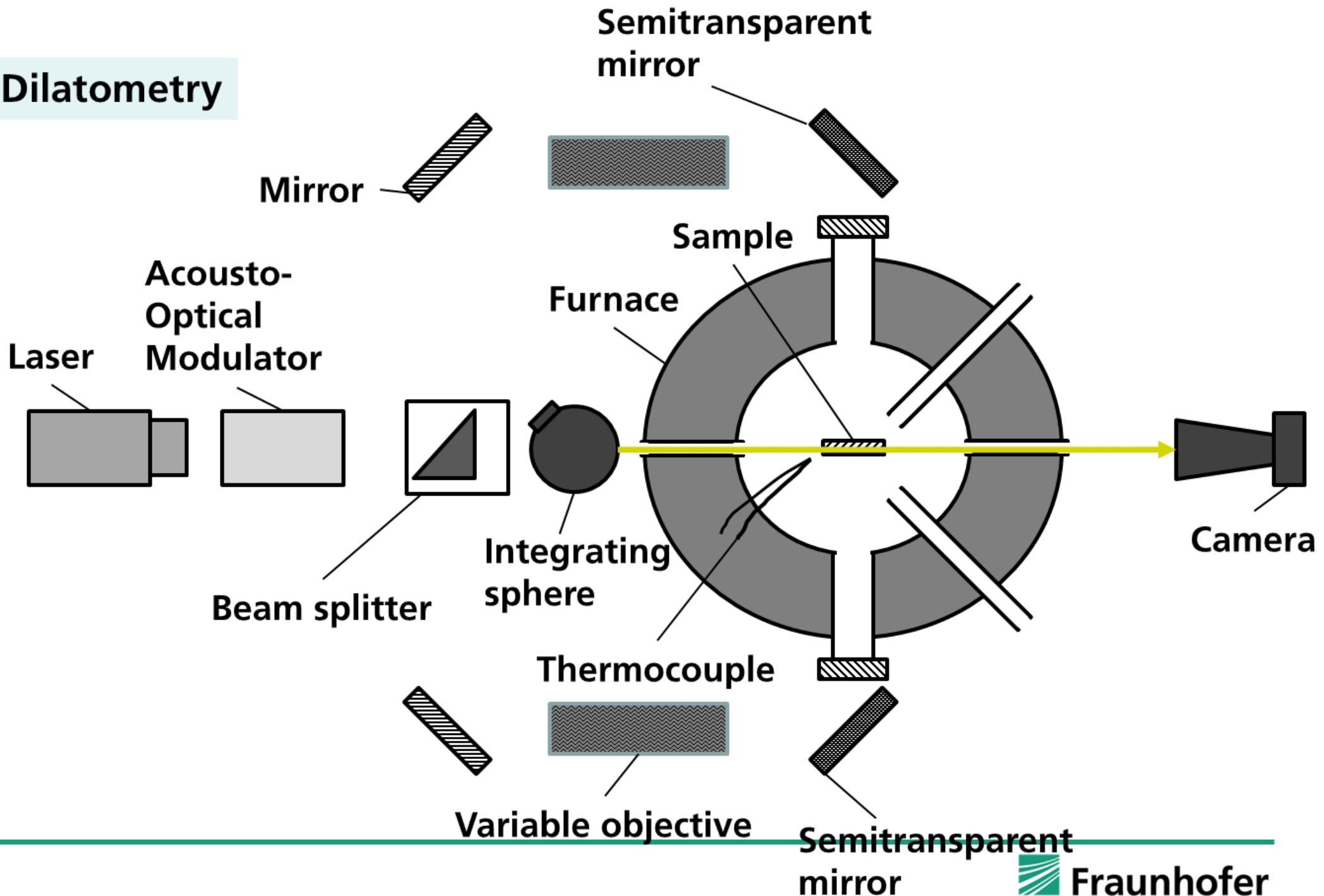
# Laser flash



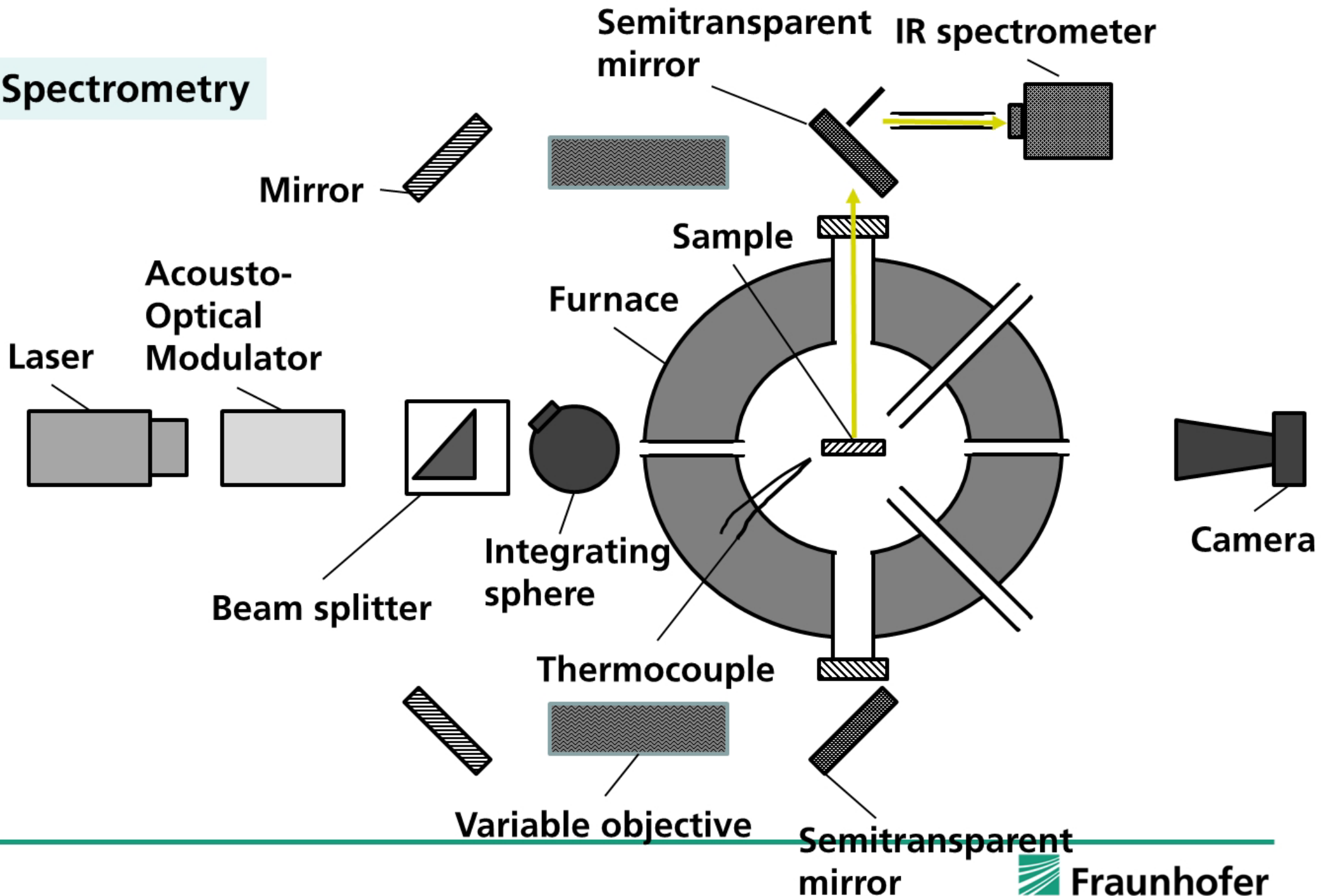
# Natural vibrations



# Dilatometry




# Spectrometry





# Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

- Kurzvorstellung des Zentrums HTL
- Messung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften
- Konzept TOM\_wave
- Aktuelle Messbeispiele
- Zusammenfassung und Ausblick

 Fraunhofer  
HTL

# Thermal Shock Experiments

## Sample

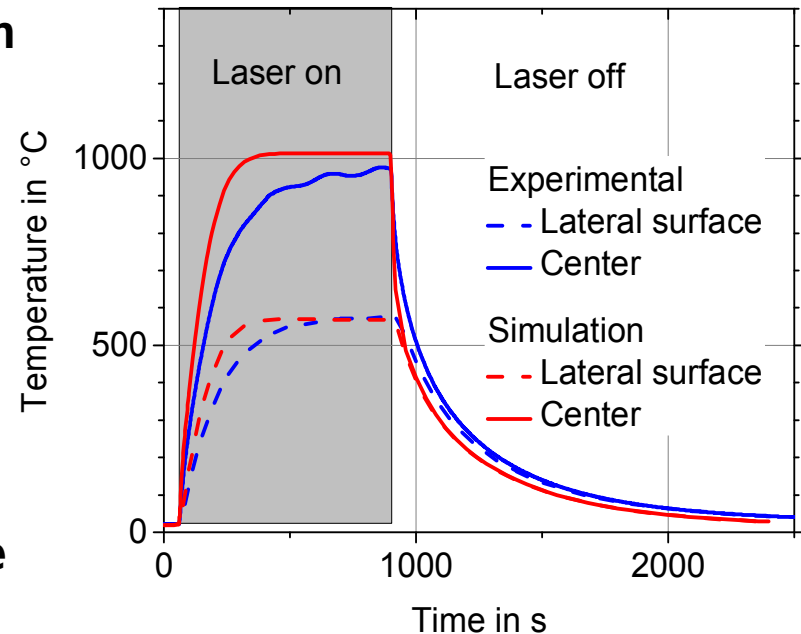
- Alumina > 99%
- Diameter 35 mm, thickness 0.6 – 14 mm

## Temperature measurement

- Thermocouples
  - Inside muffle
  - Center of sample, lateral surface
- Pyrometers
  - Front face
  - Lateral surface
  - Calibration by furnace temperature

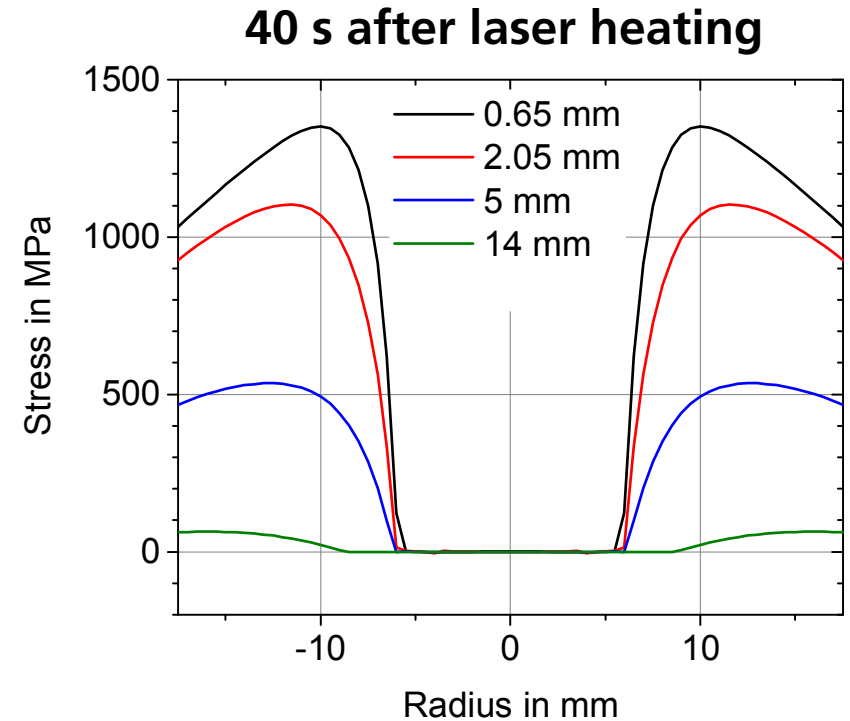
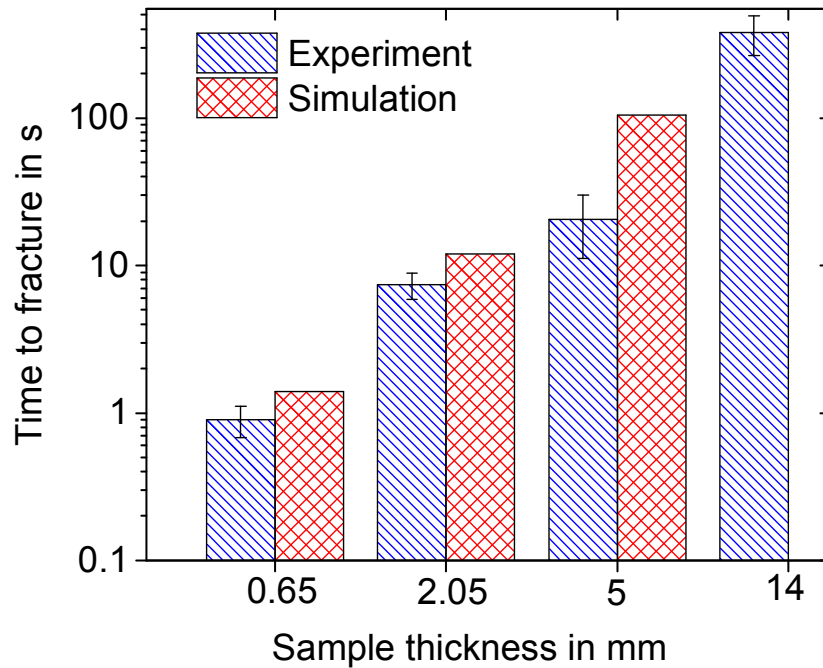
## Laser

- Spot diameter 11 mm
- Linear ramp or top hat



# Effect of Sample Thickness

Laser power 300 W, top hat



- Strong effect of sample thickness on time to fracture
- Zone of highest stress moves outward with increasing thickness

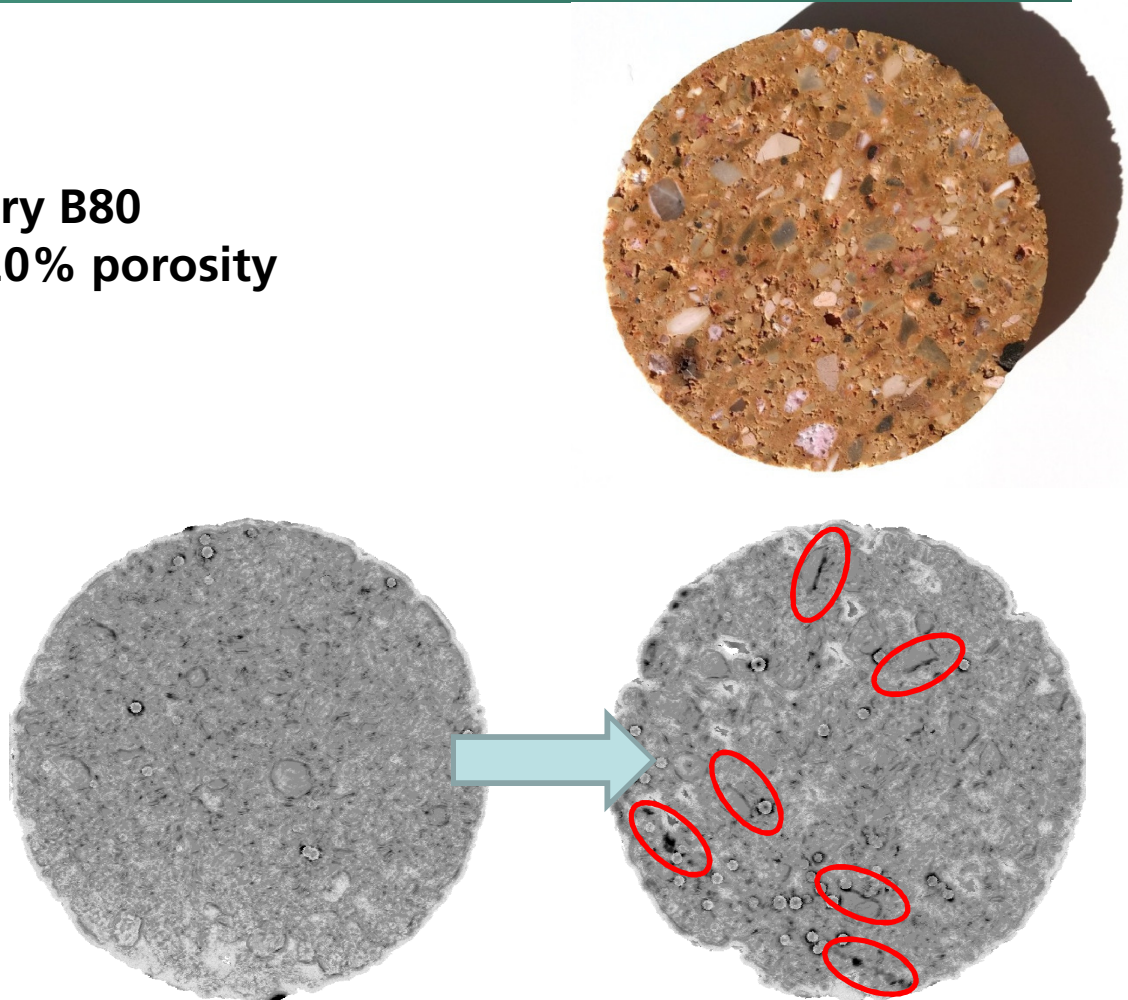
# Thermal Shock on Refractories

## Experimental Conditions

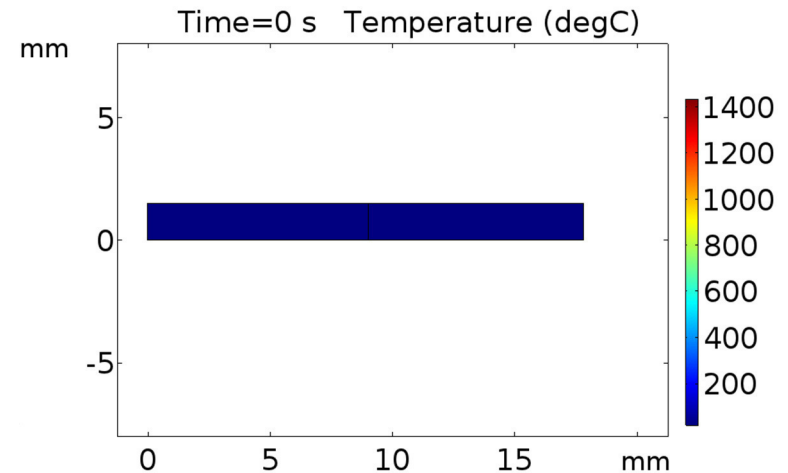
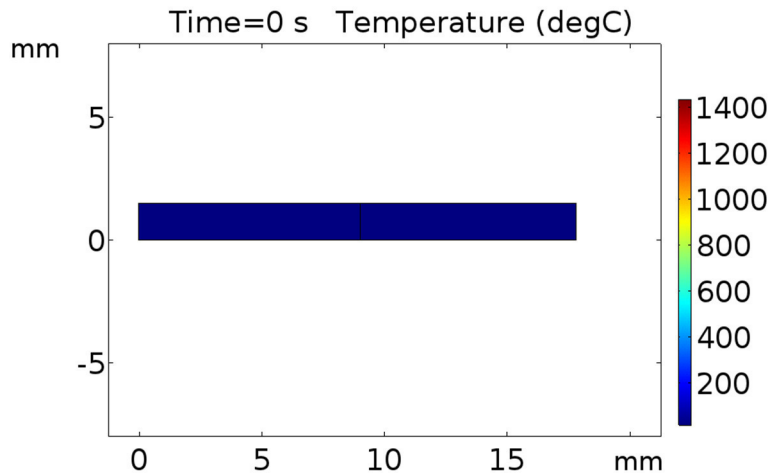
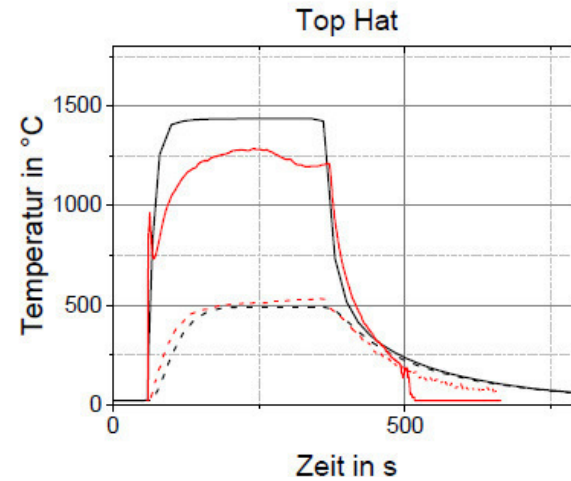
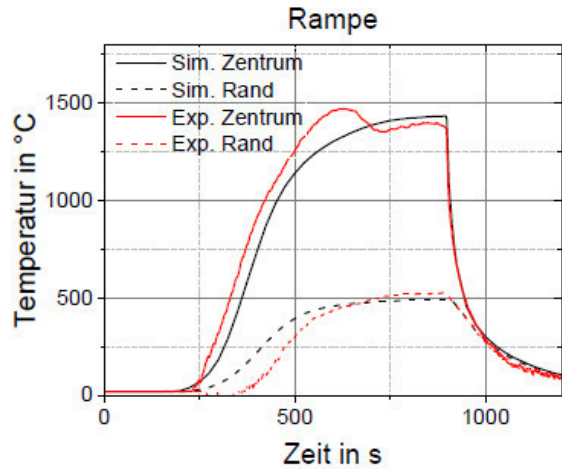
- Sample: Bauxite refractory B80  
80%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / 10%  $\text{SiO}_2$  / 20% porosity
- Disk shaped
- Diameter: 35 mm,
- Thickness: 3 and 5 mm

## Laser

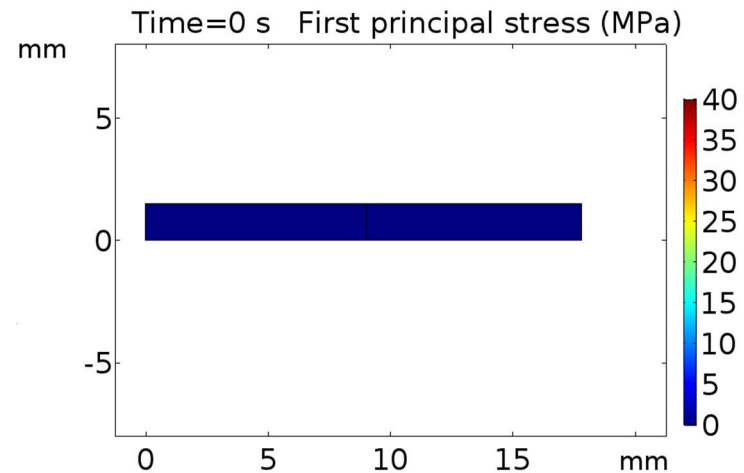
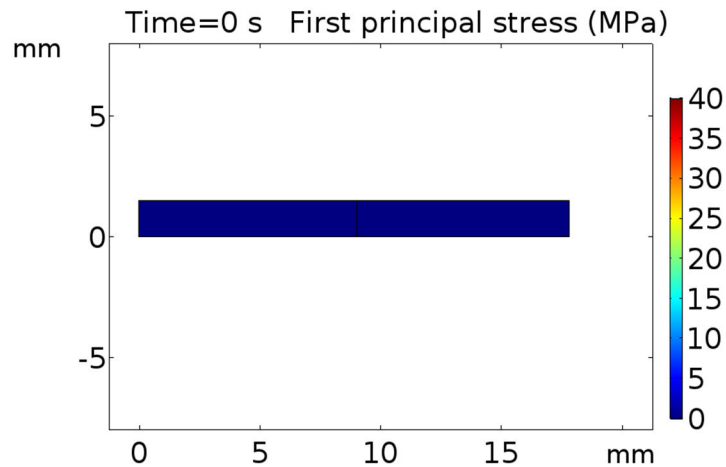
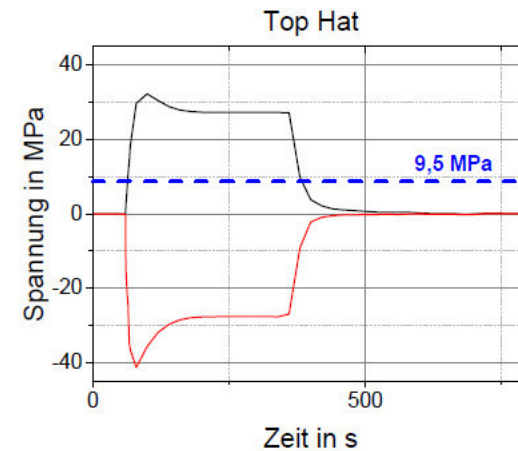
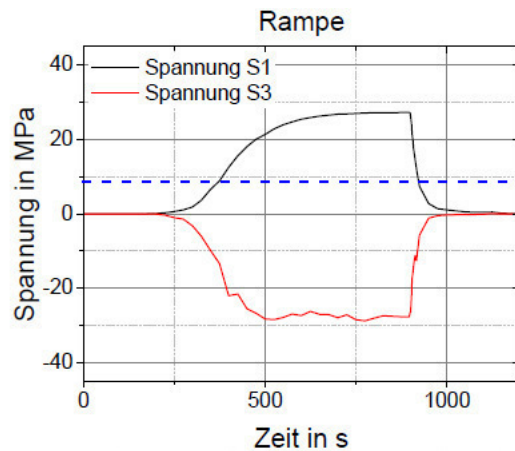
- Laser power: 2 x 200 W
- Spot size: 8 mm
- Laser profiles:
  - Top hat
  - 900 sec. ramp



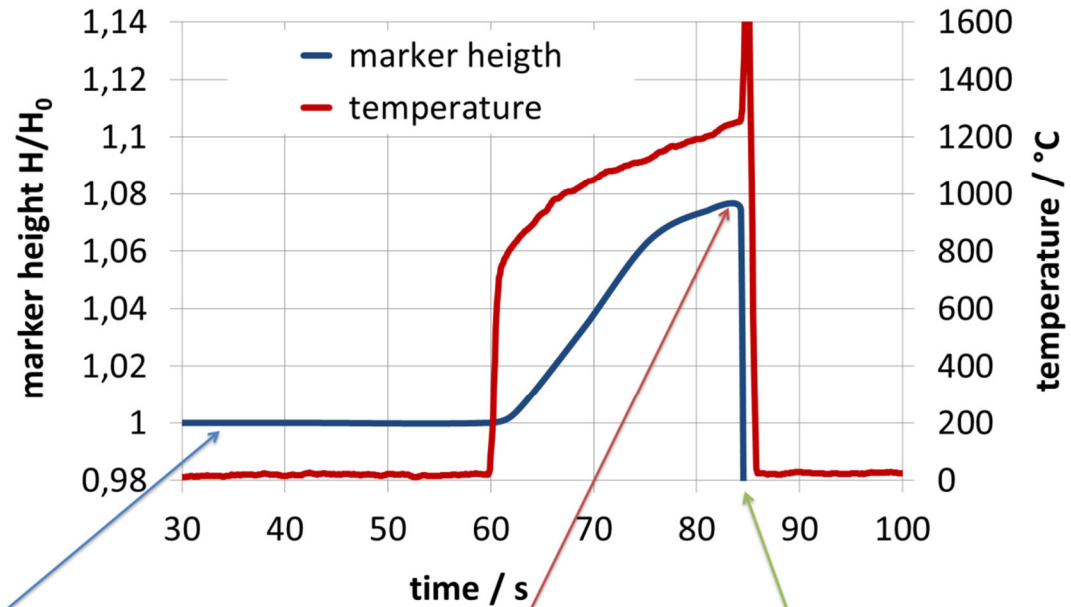
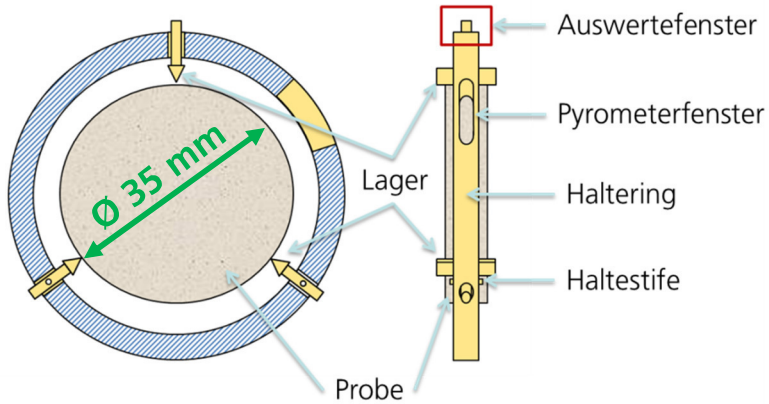
# Temperature Distribution during Thermal Shock



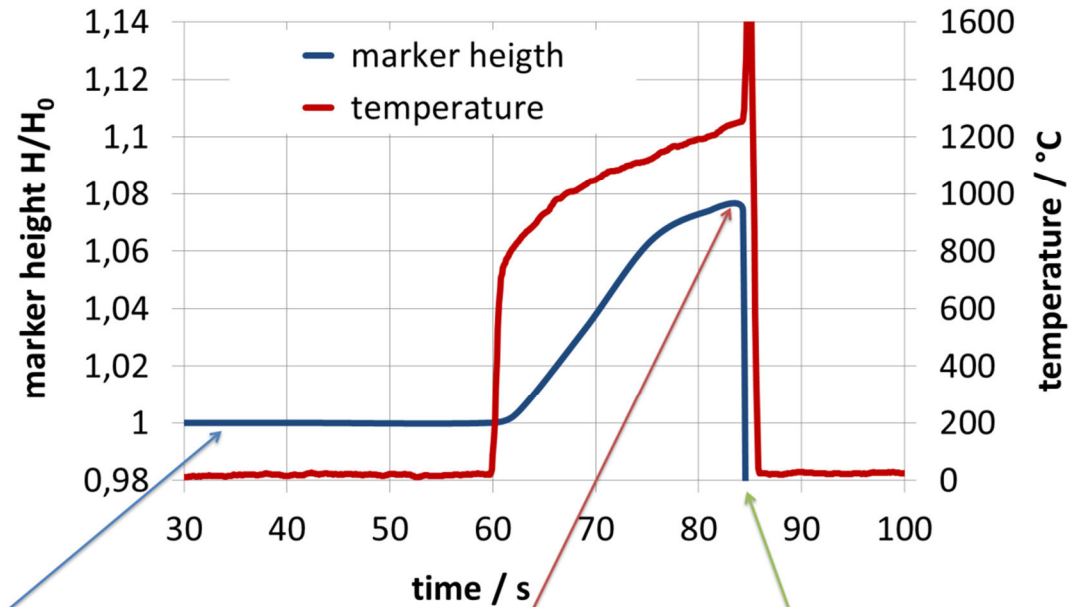
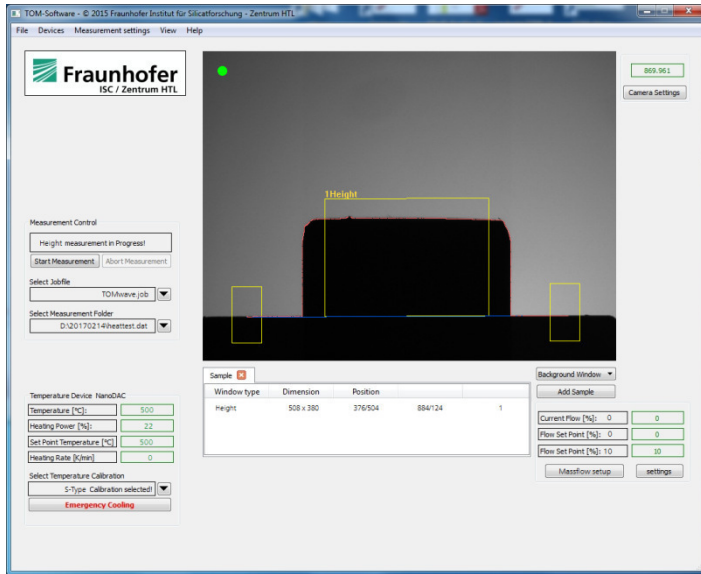
# Stress Distribution during Thermal Shock



# Bestimmung des WAK



# Bestimmung des WAK

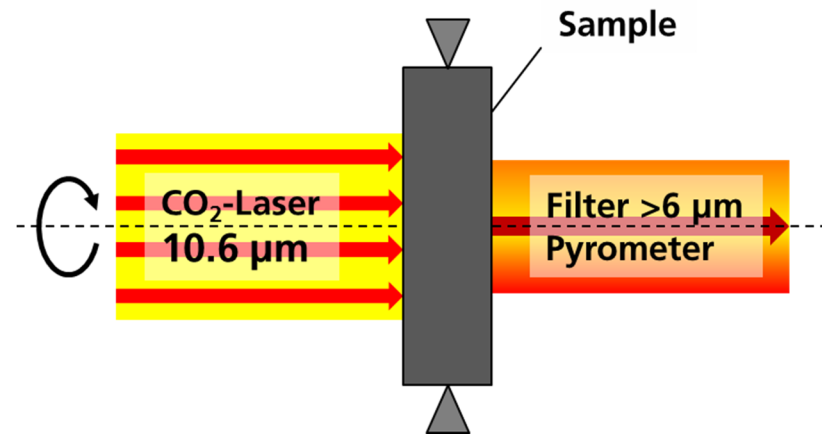
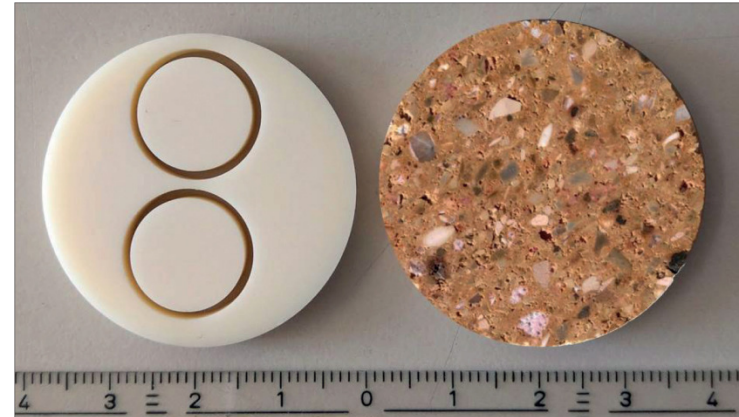




# Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit (TLF)

## Proben:

- Aluminiumoxid >99%,  
Bauxit B80
- Laserwellenlänge > 10  $\mu\text{m}$ ,  
hohe Absorption auch bei  
Keramiken  $\rightarrow$  Messungen  
ohne Coating möglich
- Auswertung durch Inverse  
Simulation des T-Feldes (3D)  
 $\rightarrow$  Eignung für große Proben
- Vergleichsmessung an  
Netzsch LFA457

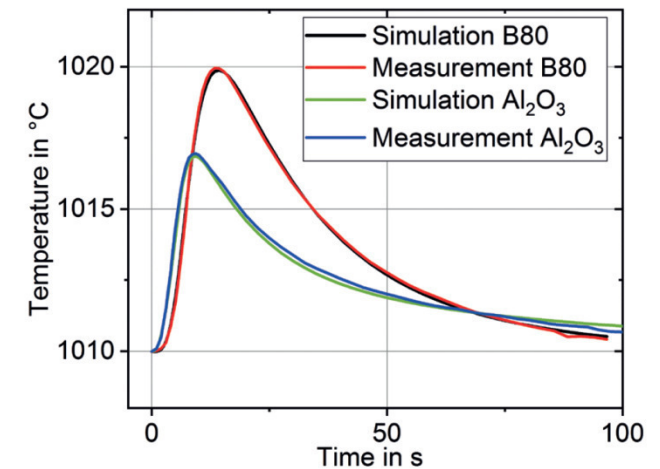
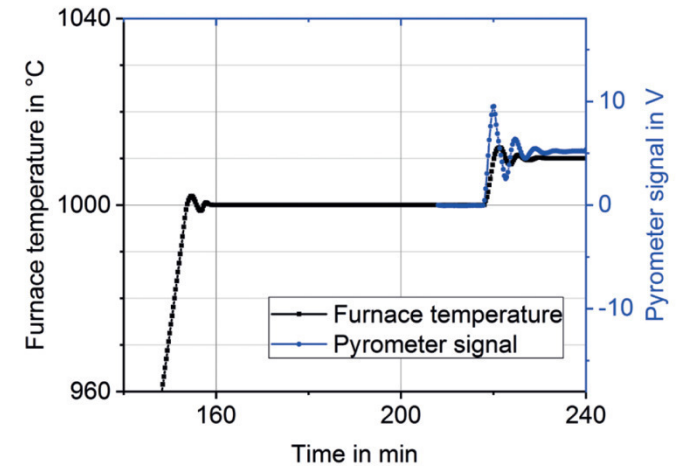


# Bestimmung der TLF

## Proben:

- Temperaturstabilität bei 1000°C:  $\pm 0.14$  K
- 10 K Schritt zur Kalibrierung der Pyrometer

	TOM_wave, a [mm <sup>2</sup> /s]	LFA457 a [mm <sup>2</sup> /s]	TOM_wave, Emissiv. $\epsilon$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.343	1.368	0.37
B80	0.493	0.48 $\pm$ 0.05 (5 kl. Proben)	0.66



---

# Zusammenfassung und **Ausblick**

- TOM\_wave ermöglicht zuverlässige Bestimmung von Hochtemperatur-Materialeigenschaften auch grob strukturierter Materialien (z.B. Feuerfest-Werkstoffe)
- Laser-Flash-Verfahren für große Volumina ( $\approx 20 \text{ cm}^3$ ) mittels inverser Simulation
- Alternative zu Hot-Plate / Hot-Wire Verfahren, v.a. bei hohen Temperaturen ( $>1200^\circ\text{C}$ )
- (Heißer) Thermoschock und Thermozyklierung
- Bestimmung von TLF, WAK, Wärmekapazität, Emissivität
- **akustische Analyse von thermisch (Laser) angeregten Eigenschwingungen** → E-Modul, Rissuferreibung

---

# Danksagung

- Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie (StMWi Bayern) im Rahmen des Projektes EnerTHERM finanziell unterstützt.



[www.htl-enertherm.eu](http://www.htl-enertherm.eu)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## **Kontakt:**

**Dr. Gerhard Seifert**

Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau HTL

Gottlieb-Keim-Str. 62, 95448 Bayreuth, Germany

Phone +49 921 785100-350

[gerhard.seifert@isc.fraunhofer.de](mailto:gerhard.seifert@isc.fraunhofer.de)

[www.htl.fraunhofer.de](http://www.htl.fraunhofer.de)