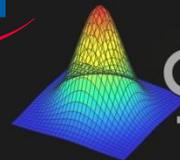


Effekte der thermischen Linse des aktiven Lasermediums

Vortrag auf dem Auswärtsseminar
der Arbeitsgruppe Optische Technologien

*Philipp Heilfort, Frank Ebert, Pascal Böswetter, Tobias Baselt,
Fabiola Basan und Peter Hartmann*



OPTISCHE
TECHNOLOGIEN

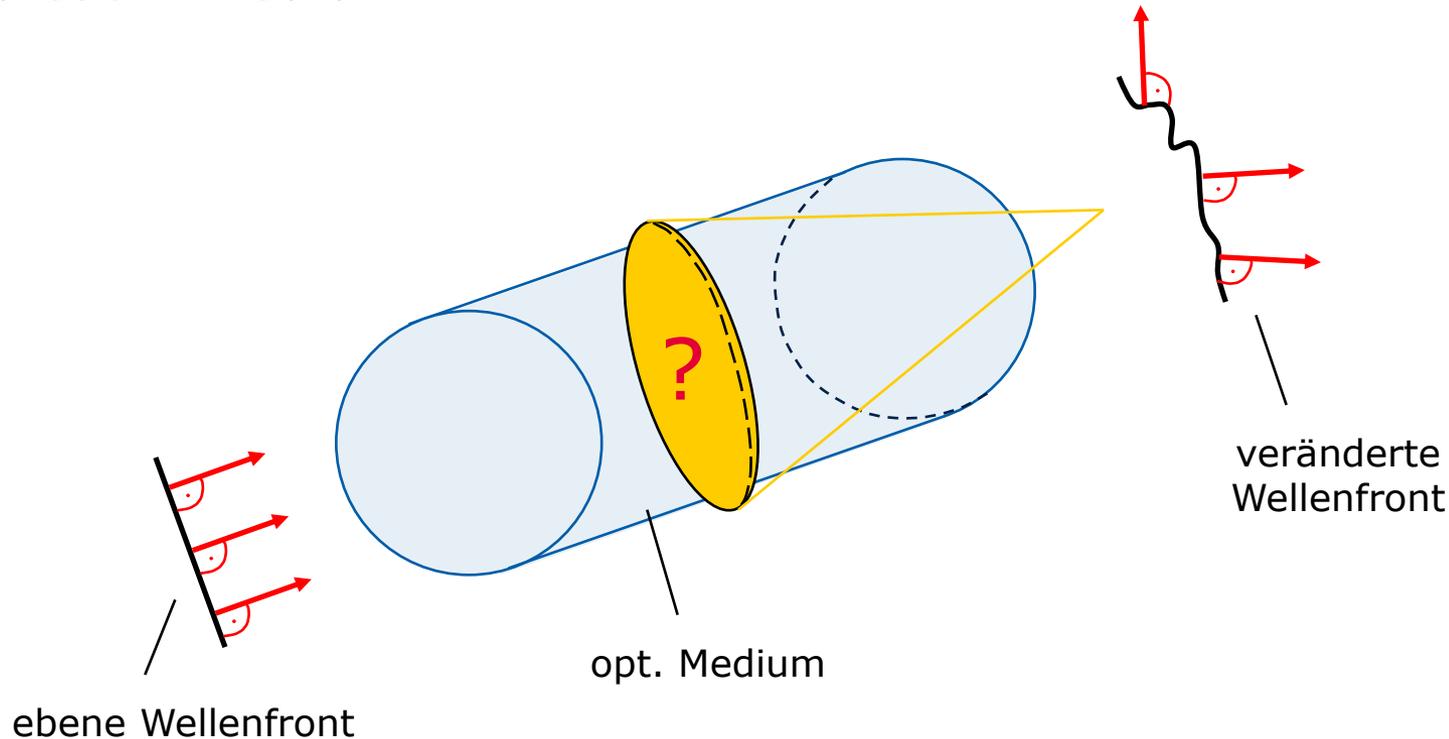


Westfälische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

Was ist eine thermische Linse?

Thermische Linse:

Deformation der Wellenfront bei Durchgang durch ein opt. Medium aufgrund inhomogener Temperaturverteilung in diesem Medium

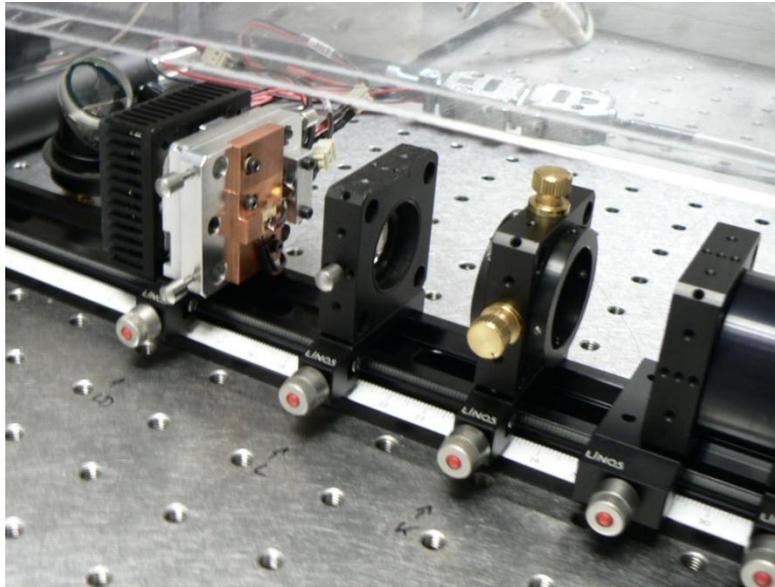


Gliederung

- Motivation
- Einleitung
- Grundlagen zur thermischen Linse
- Einfache Experimente zur Untersuchung der thermischen Linse
- Messung der Wellenfrontdeformation
- Erste Messergebnisse
- Ziel & Ausblick

Motivation

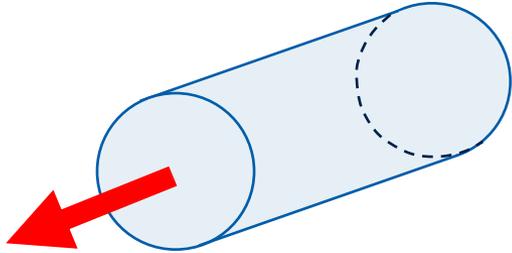
■ Untersuchung der thermischen Linse am Mikrochiplaser



- Einfluss auf
- Strahlqualität
 - Laserleistung

Einleitung

- Ausgangspunkt: aktives Lasermedium

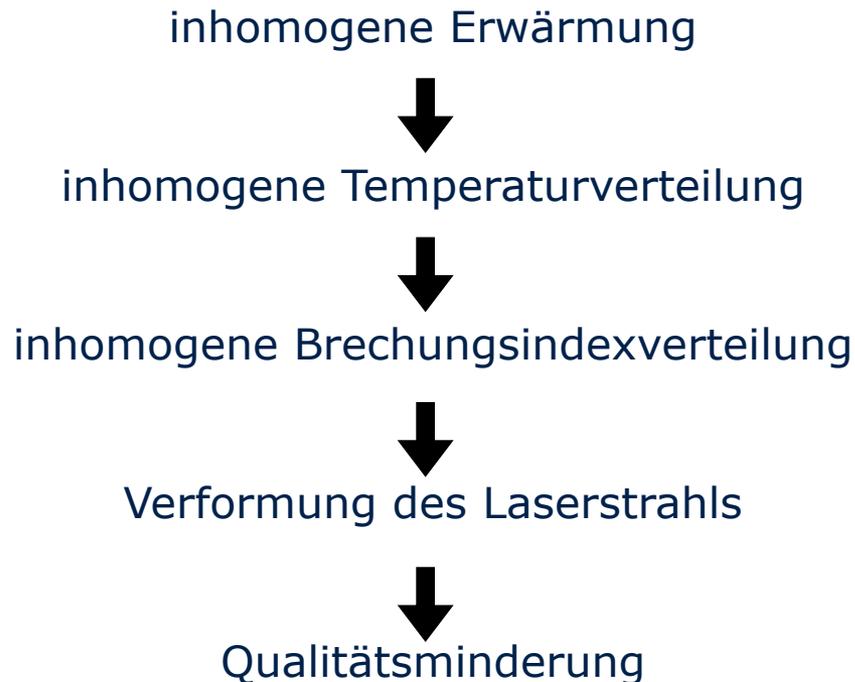


→ bildet im Betrieb thermische Linse aus

- Effekt der thermischen Linse auch nutzbar:
für Betrieb des Mikrochiplasers
- Welche Auswirkungen hat die thermische Linse genau?
 - Fokussiereffekt und Aberrationen messen
 - dies mit Ursachen der thermischen Linse verknüpfen
 - Erkenntnisse zur Verbesserung der Strahlqualität

Grundlagen zur thermischen Linse

- Entstehung der thermischen Linse: 3 Mechanismen
 - Thermische Ausdehnung und Verformung
 - Thermische Spannungen
 - Temperaturabhängigkeit der Brechzahl



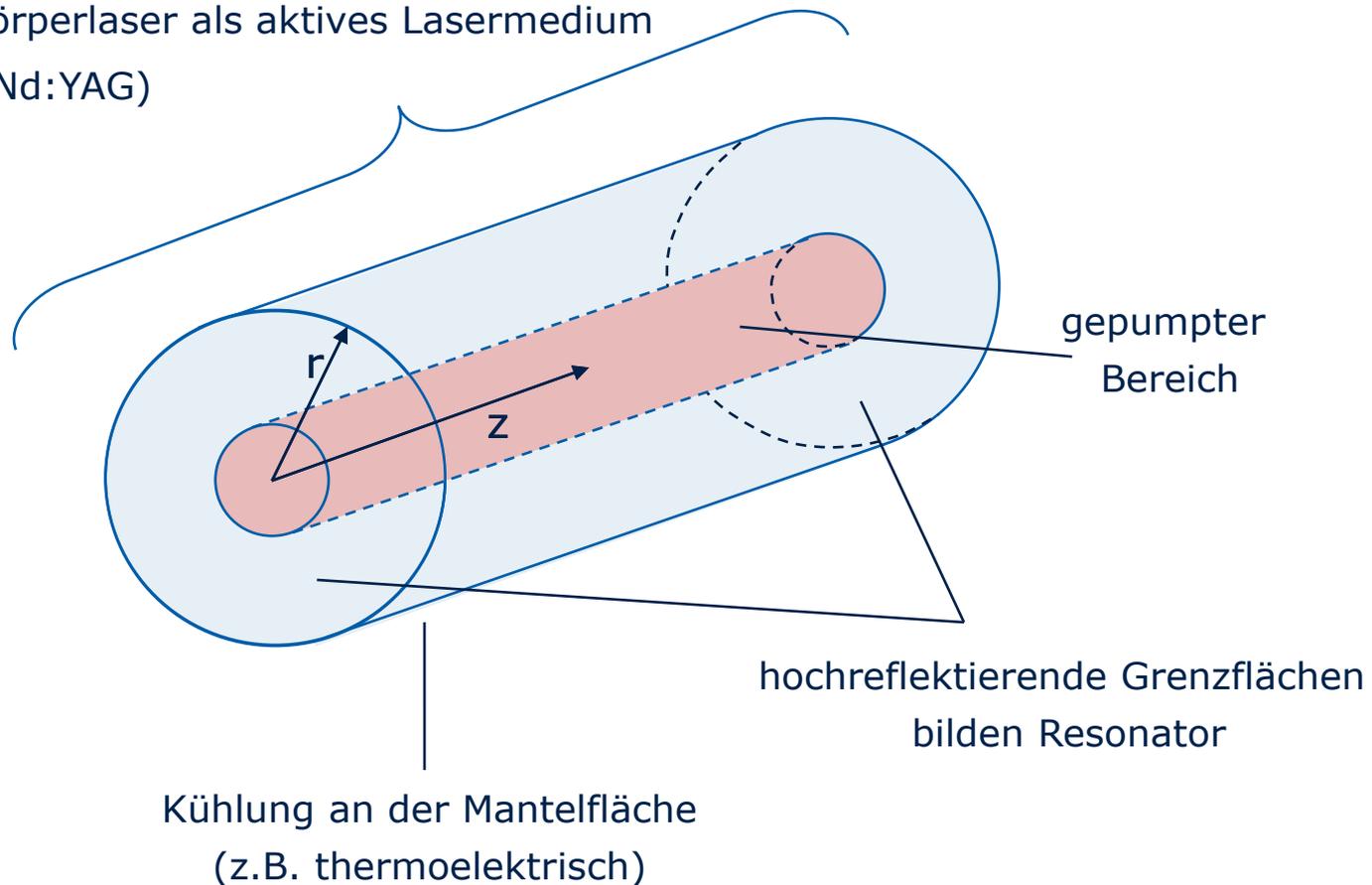
Grundlagen zur thermischen Linse

■ Modellierung der Versuchsbedingungen

□ Temperaturverlauf im aktiven Medium [1]

Festkörperlaser als aktives Lasermedium

(z.B. Nd:YAG)



Grundlagen zur thermischen Linse

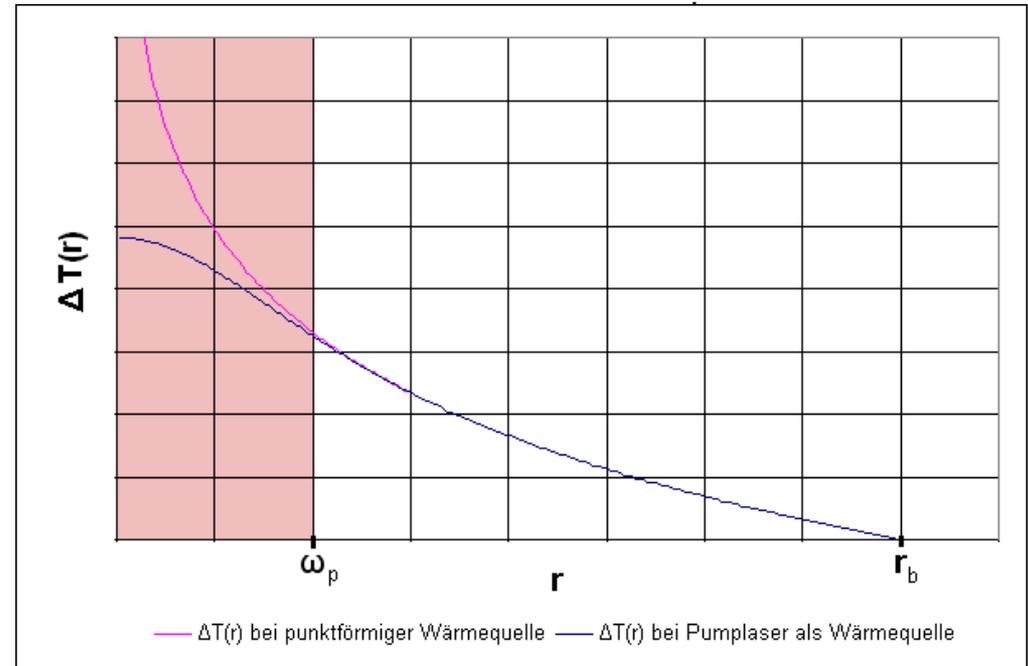
■ Modellierung der Versuchsbedingungen

□ Temperaturverlauf im aktiven Medium [1]

$$\Delta T(r, z) = \frac{\alpha P_{ph} e^{-\alpha z}}{4\pi K_C} \left[\ln\left(\frac{r_b^2}{r^2}\right) + E_1\left(\frac{2r_b^2}{\omega_p^2}\right) - E_1\left(\frac{2r^2}{\omega_p^2}\right) \right]$$

ΔT	Temperaturdifferenz zum Rand des aktiven Mediums
P_{ph}	in Wärme umgewandelte Pumpleistung
α	Absorptionskoeffizient
r	Radius des aktiven Mediums
z	Abstand auf der opt. Achse
E_1	Integralexponentialfunktion
K_C	Wärmeleitfähigkeit des aktiven Mediums
r_b	Außenradius des aktiven Mediums
ω_p	Tailienradius des Pumplasers

radiale Temperaturverteilung

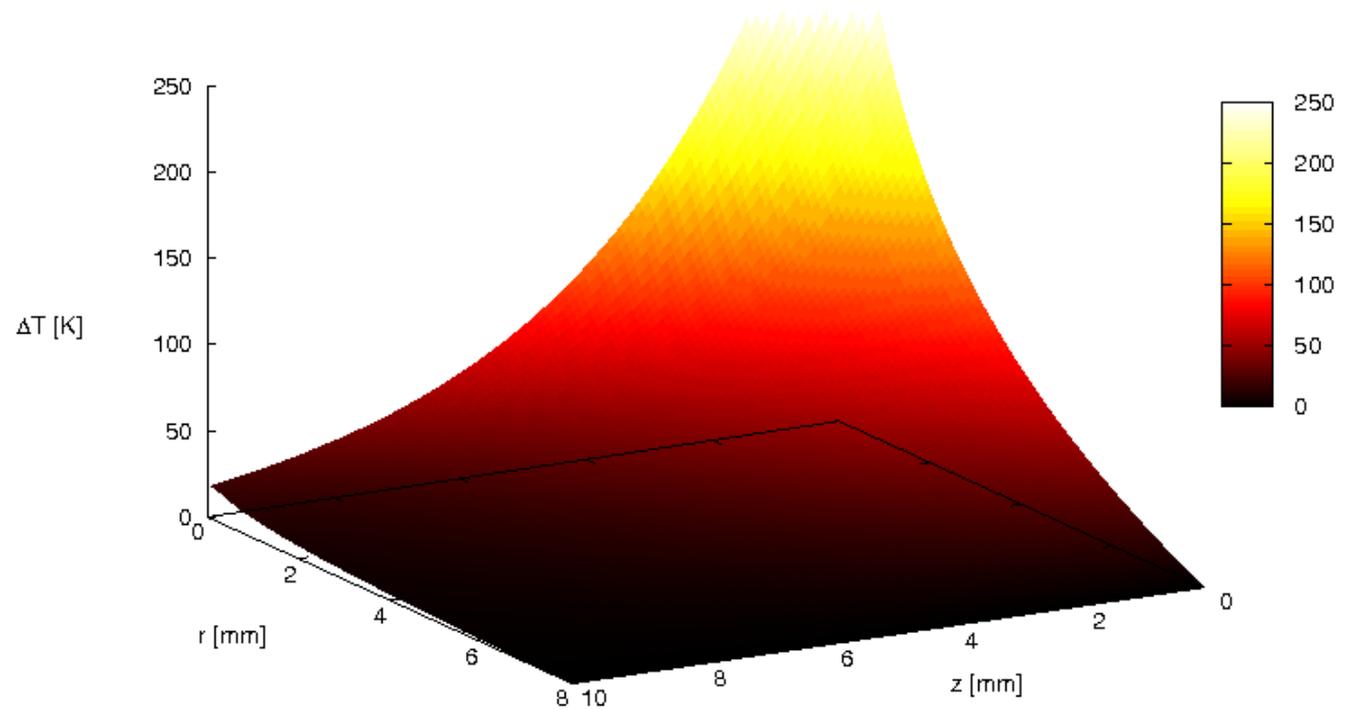


Grundlagen zur thermischen Linse

■ 2-D-Temperaturverlauf $\Delta T(r,z)$

□ Variation von ω_p

Parameter	
$P_{ph} =$	1,8 W
$K_C =$	0,76 W/(m*K)
$r_b =$	8,0 mm
$a =$	0,30 mm ⁻¹
$\omega_p =$	0,5 ... 6,0 mm



Grundlagen zur thermischen Linse

■ Brennweite der thermischen Linse

- Näherung für den gepumpten Bereich

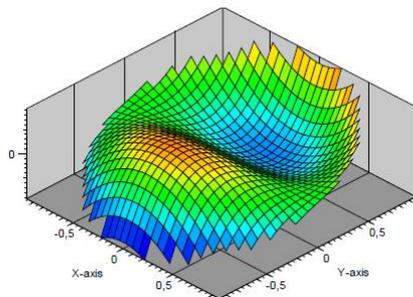
$$f = \frac{\pi K_c \omega_p^2}{P_{ph} (dn/dT)} \left(\frac{1}{1 - e^{-\alpha l}} \right) \quad [1]$$

- Aber wie wird der gesamte Laserstrahl verändert, nicht nur der gepumpte Bereich?

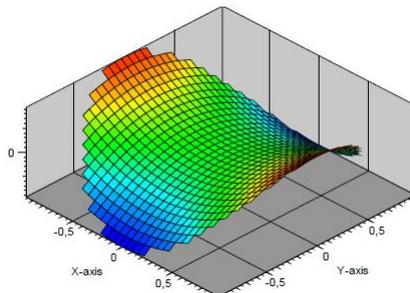
→ z.B. Seidel'sche Aberrationen möglich

(hier als Wellenfrontdeformation dargestellt) [2]

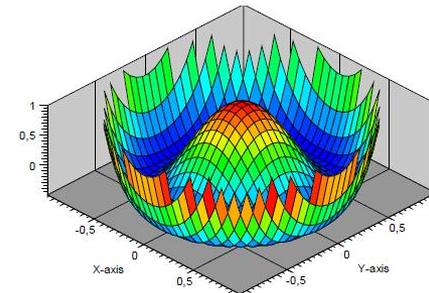
Coma



Astigmatismus

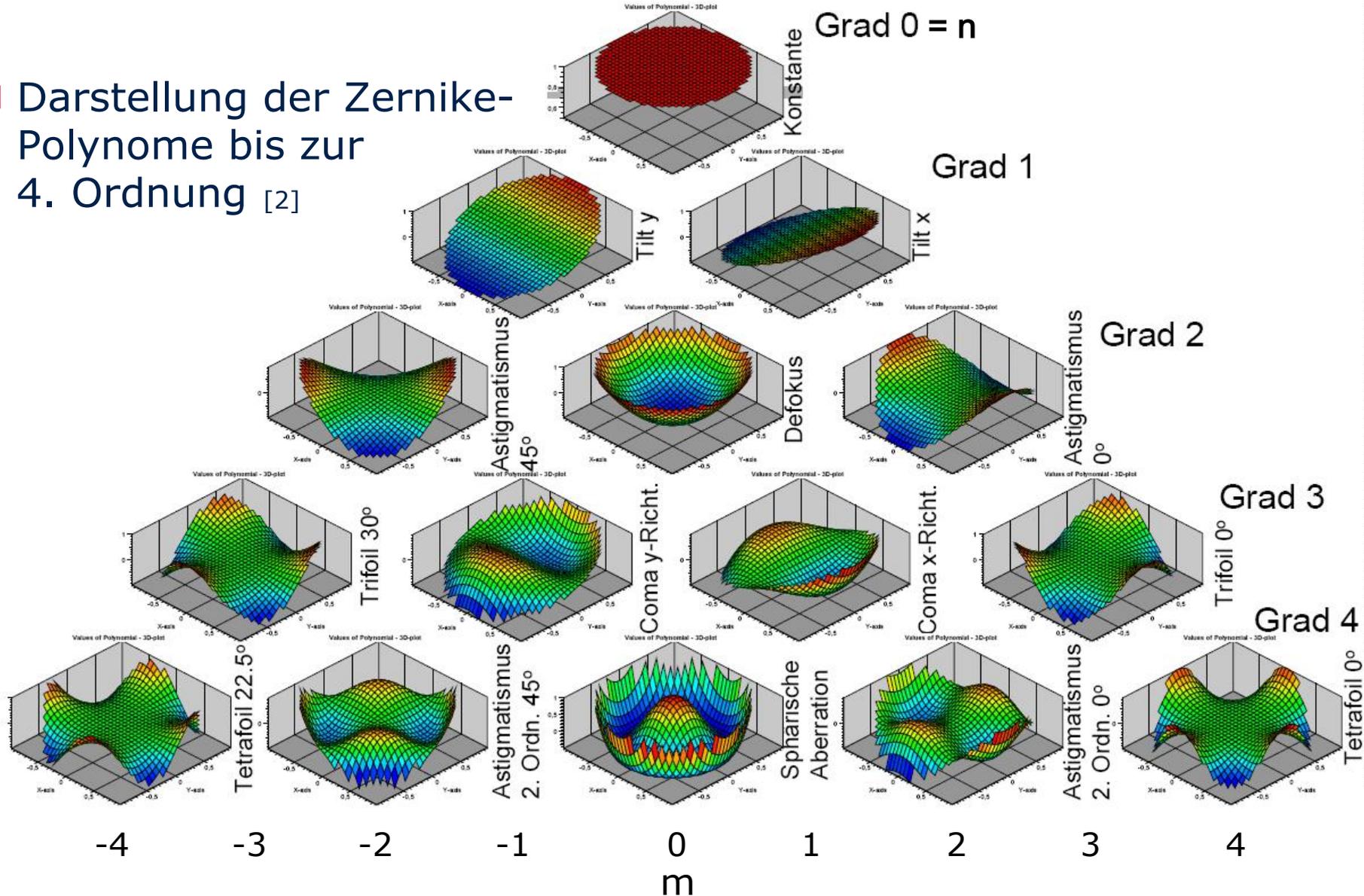


Sphäre



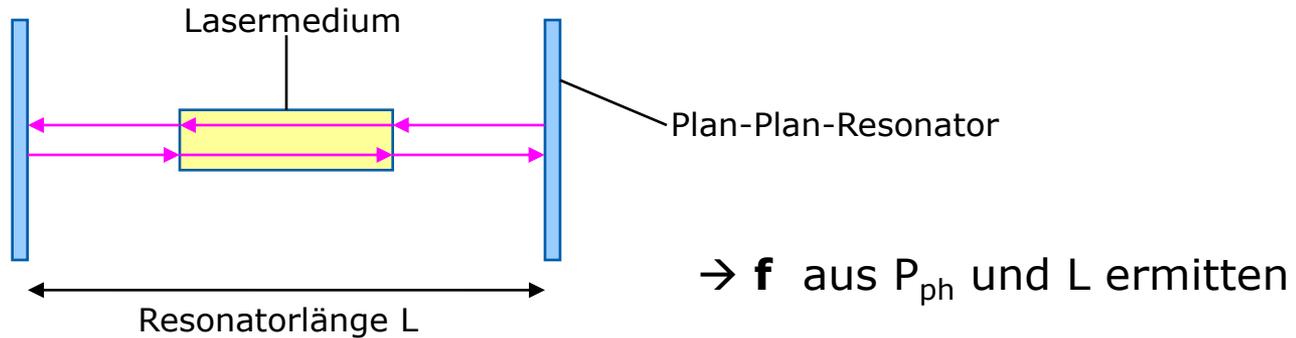
Grundlagen zur thermischen Linse

- Darstellung der Zernike-Polynome bis zur 4. Ordnung [2]



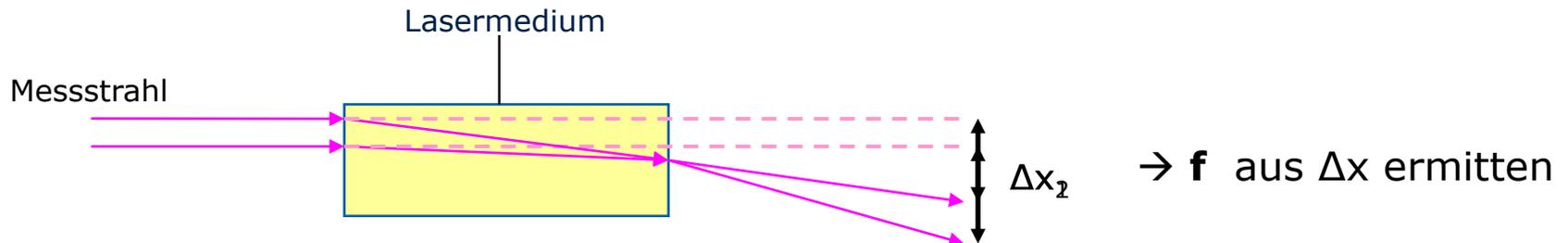
Einfache Experimente zur Untersuchung der thermischen Linse

- Bestimmung der Brennweite der thermischen Linse durch Messen des Stabilitätsbereiches eines Plan-Plan-Resonators [3]



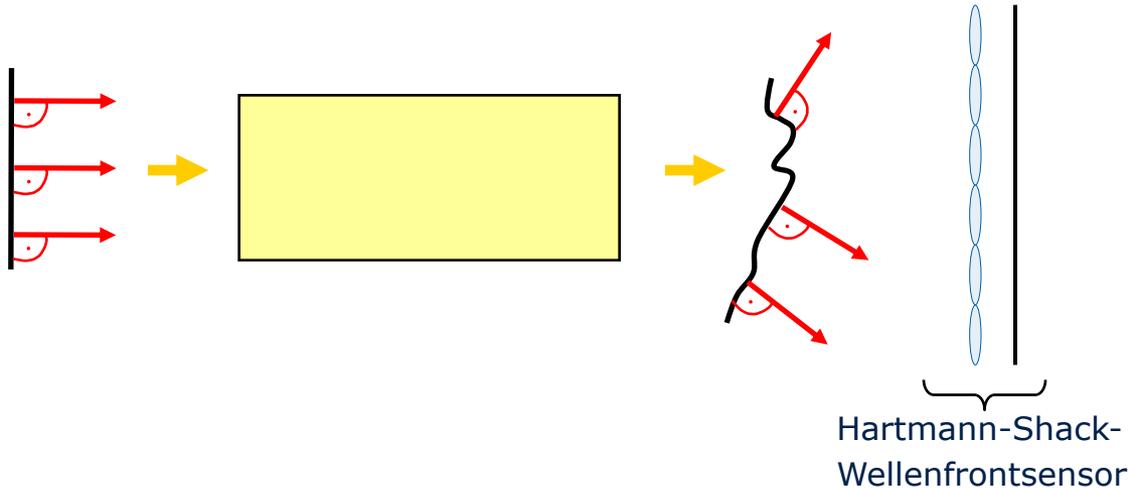
[3] „Resonatorinterne Frequenzverdopplung von diodengepumpten Neodym-Lasern mit hohen Ausgangsleistungen im blauen Spektralbereich“
Christoph Czeranowsky, Dissertation, Universität Hamburg, 2002

- Bestimmung der Brennweite durch die Ablenkung eines Messstrahls [4]



Messung der Wellenfrontdeformation

■ Mittels Hartmann-Shack-Sensor (HSS)

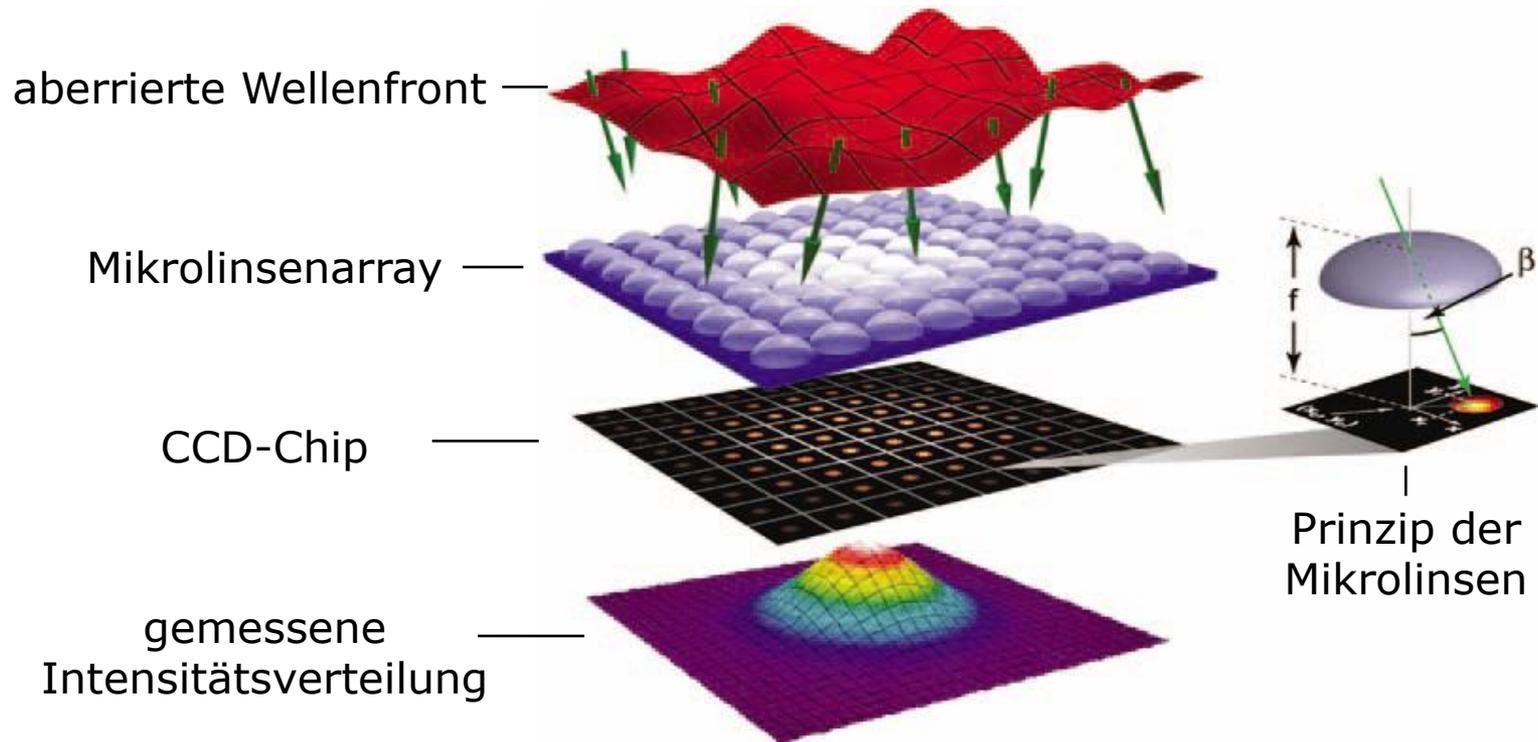


Problem: Wellenfrontdeformation nicht allein durch Fokusänderung beschreibbar, sondern komplexer

→ Lösung: Wellenfrontdeformation mit HSS messbar und durch Zernike-Polynome beschreibbar

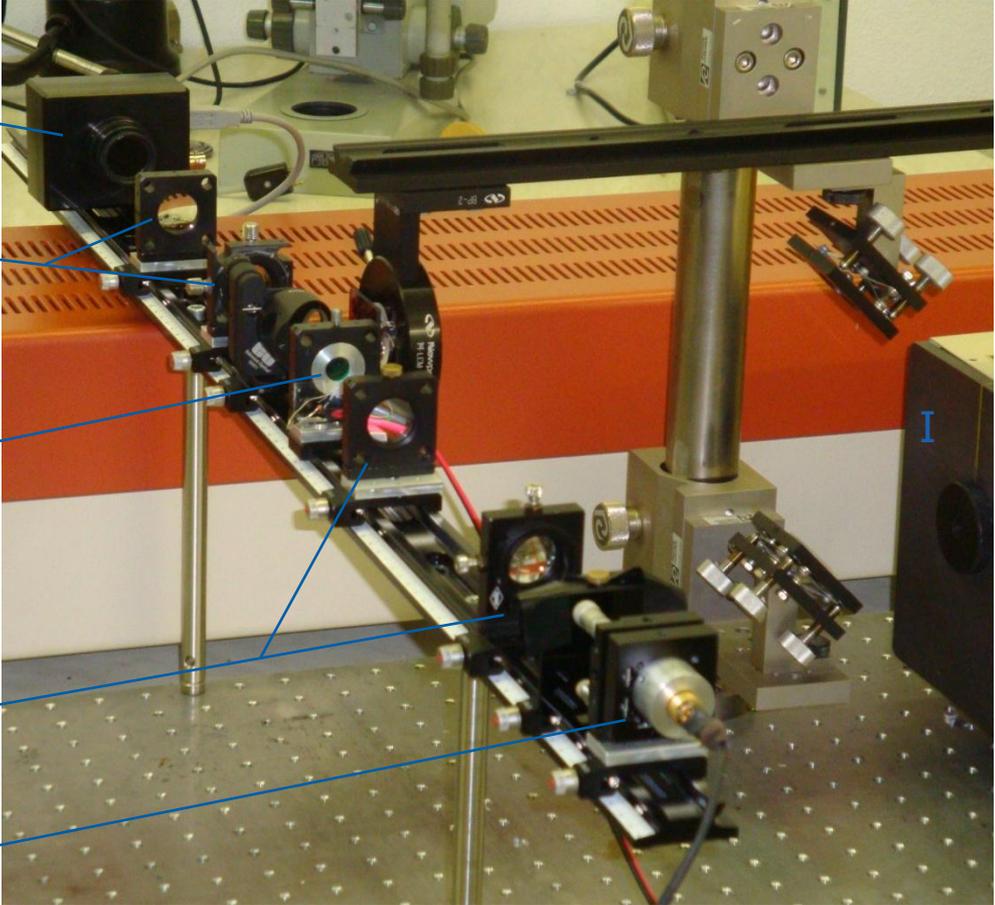
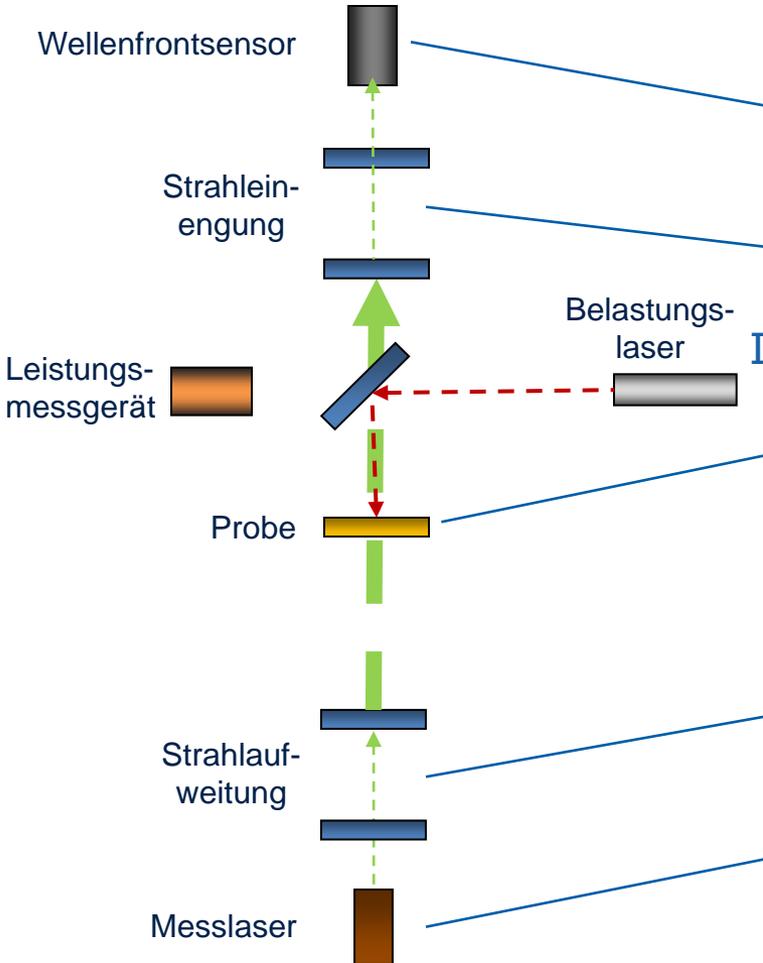
Messung der Wellenfrontdeformation

■ Funktionsprinzip des Hartmann-Shack-Wellenfrontsensor



Erste Messergebnisse

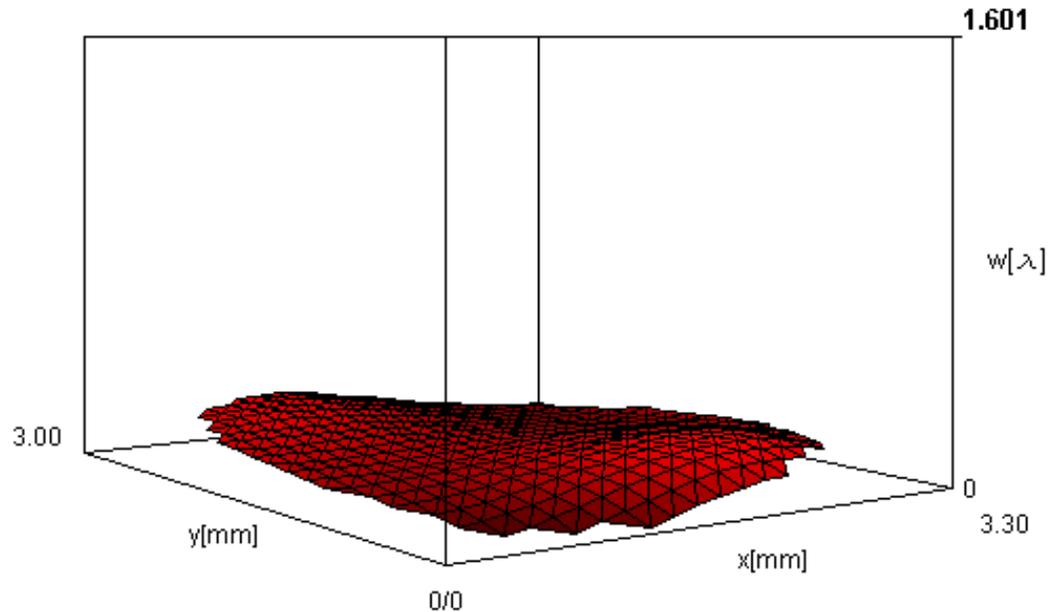
■ Versuchsaufbau



Erste Messergebnisse

- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei großem ω_p

$$t = 0 \text{ s}$$



Parameter

$$P_{ph} = 1,8 \text{ W}$$

$$K_C = 0,76 \text{ W/(m*K)}$$

$$r_b = 8,0 \text{ mm}$$

$$L = 2,2 \text{ mm}$$

$$\omega_p = 4,0 \text{ mm}$$

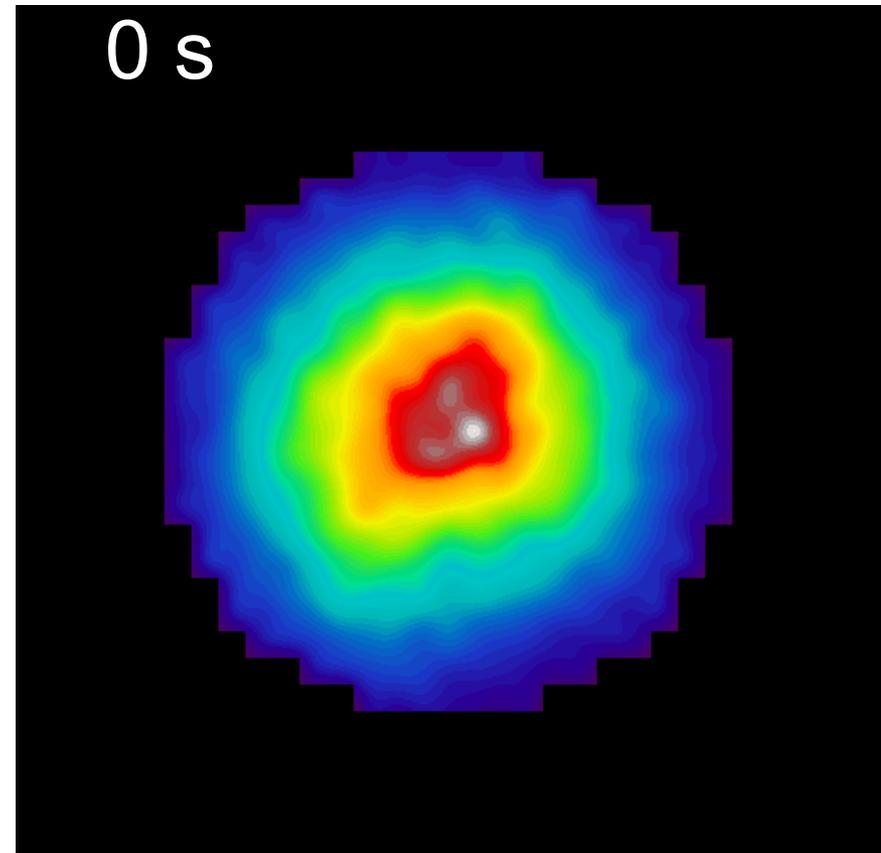
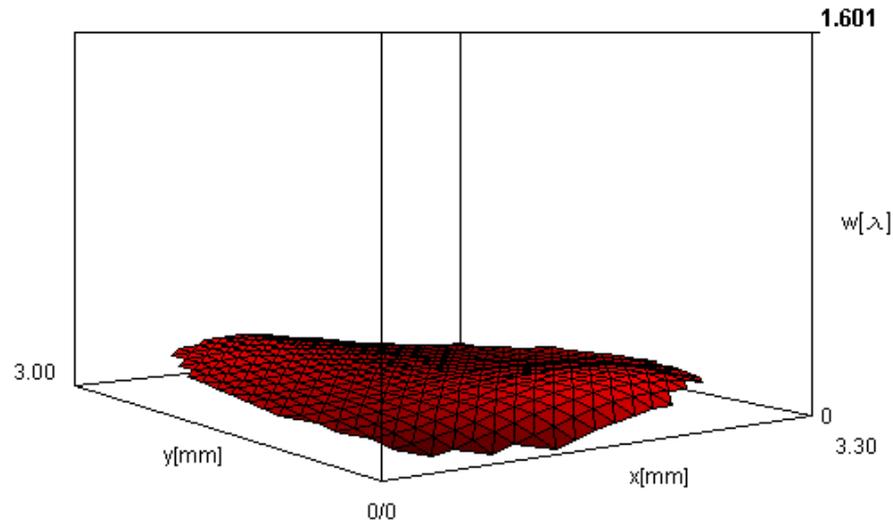
Dauer thermische Belastung

$$t = 1 \text{ s} \dots 210 \text{ s}$$

Erste Messergebnisse

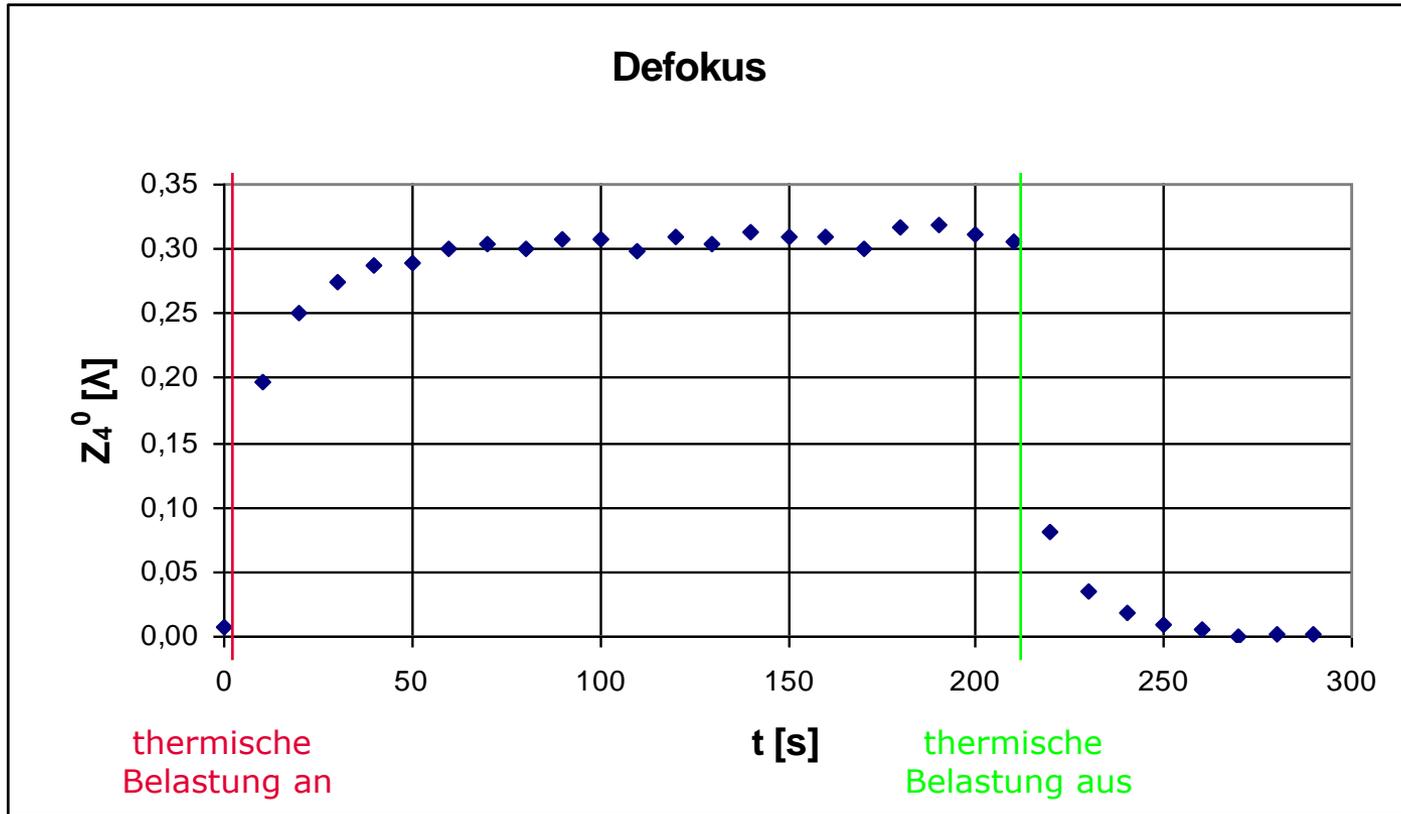
- Vergleich Wellenfrontdeformation und Intensitätsbild bei thermischer Belastung

0 s



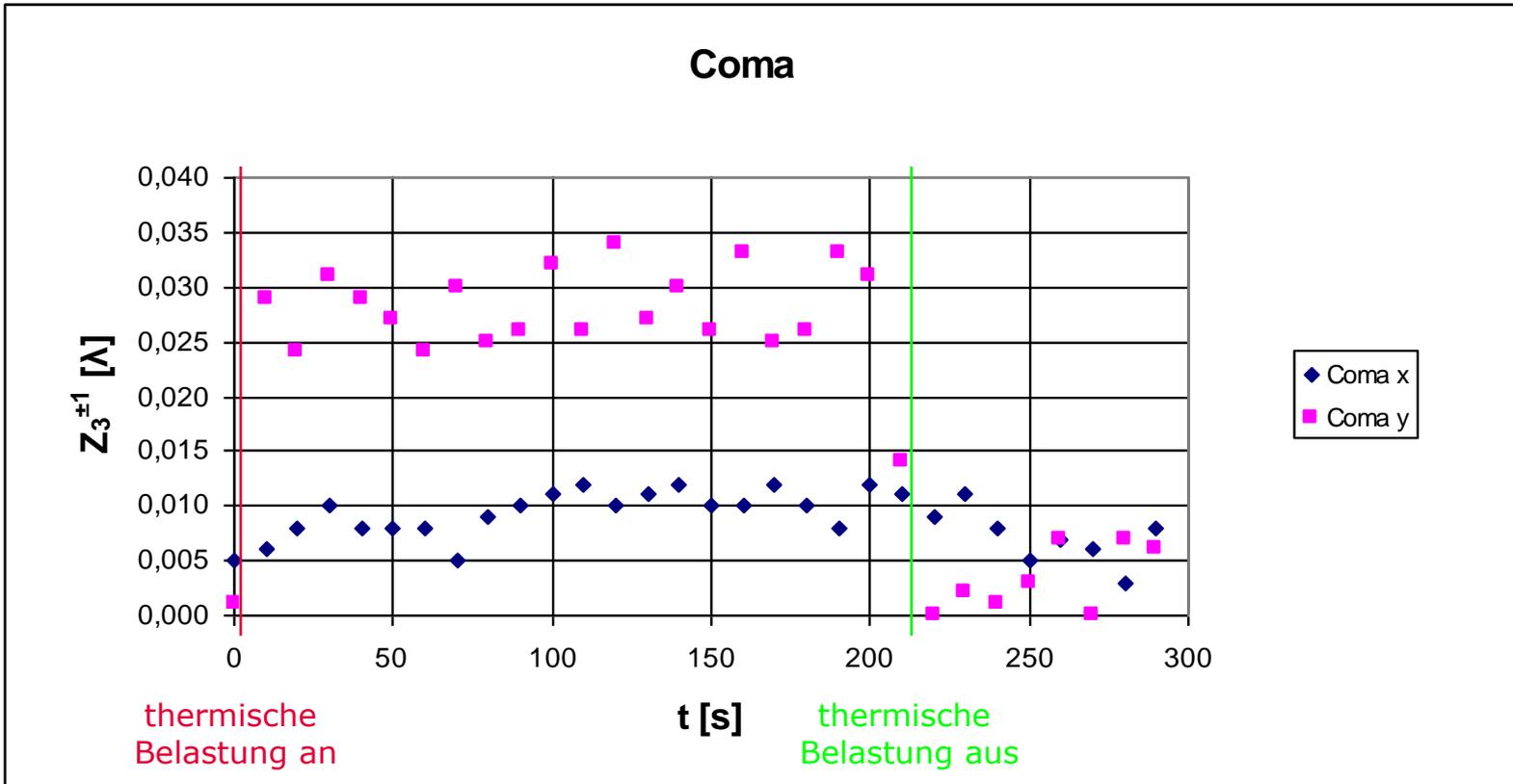
Erste Messergebnisse

- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei großem ω_p
- Zeitlicher Verlauf des Defokus



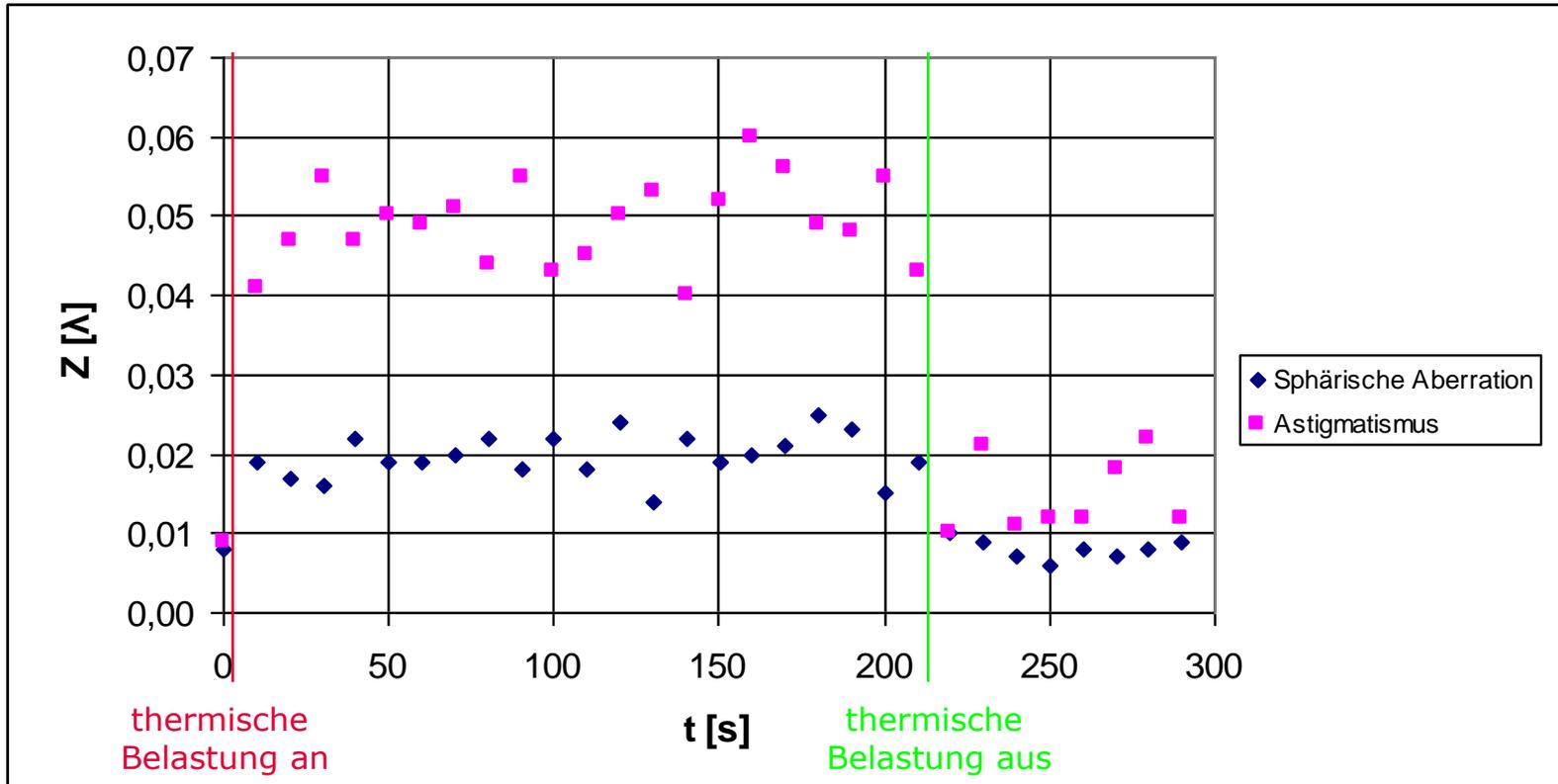
Erste Messergebnisse

- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei großem ω_p
- Zeitlicher Verlauf des Coma



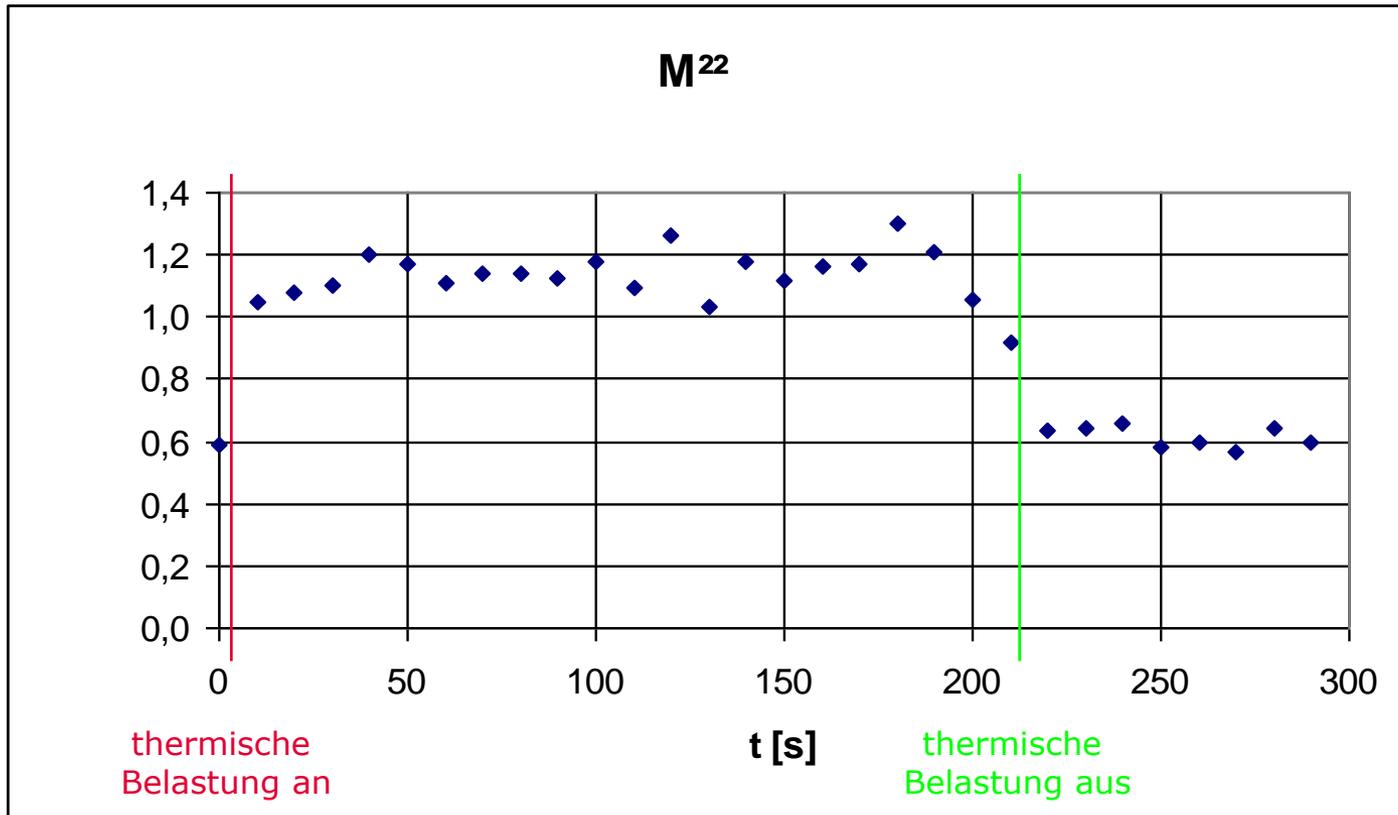
Erste Messergebnisse

- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei großem ω_p
- Zeitlicher Verlauf höherer Aberrationen



Erste Messergebnisse

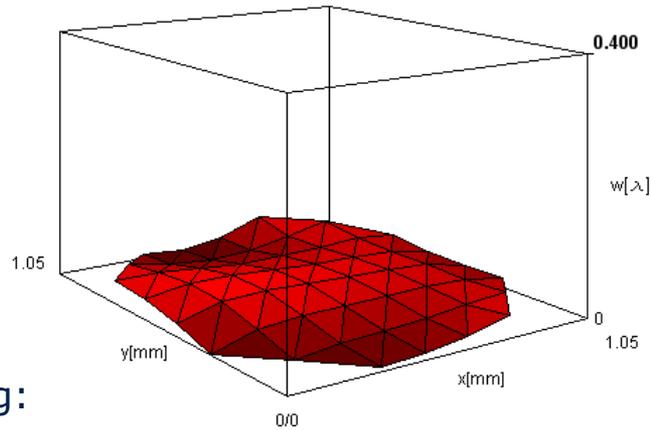
- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei großem ω_p
 - Zeitlicher Verlauf der Strahlqualität



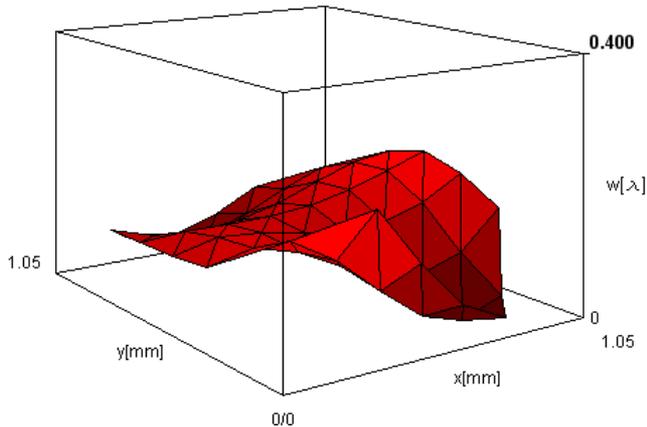
Erste Messergebnisse

- Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei kleinem ω_p

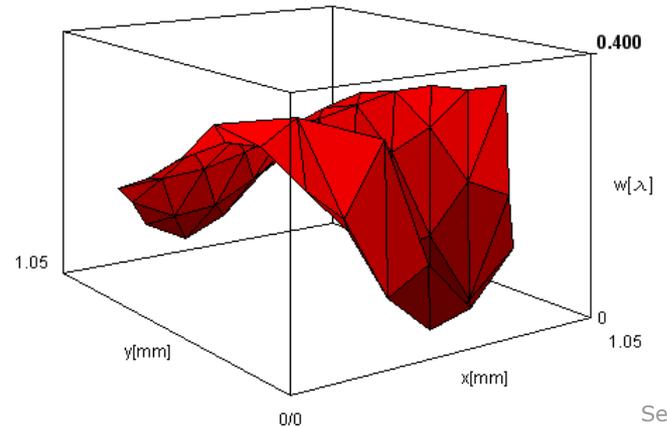
Wellenfront ohne thermische Belastung



thermische Belastung:
 $P_{\text{ph}} = 170 \text{ mW}$



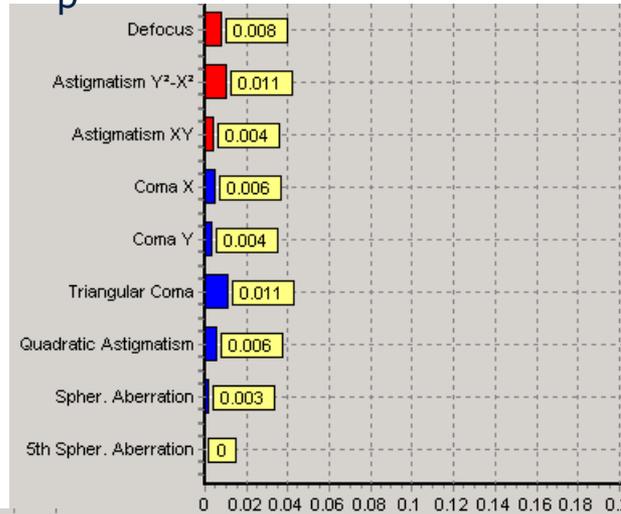
thermische Belastung:
 $P_{\text{ph}} = 300 \text{ mW}$



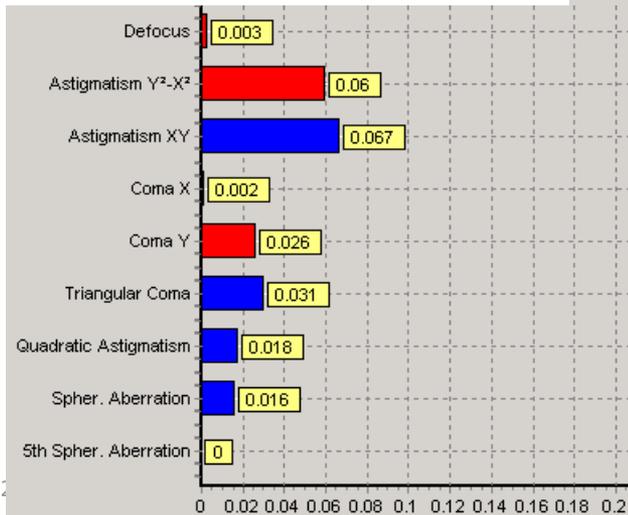
Erste Messergebnisse

Wellenfrontdeformation durch thermische Belastung an Probe bei kleinem ω_p

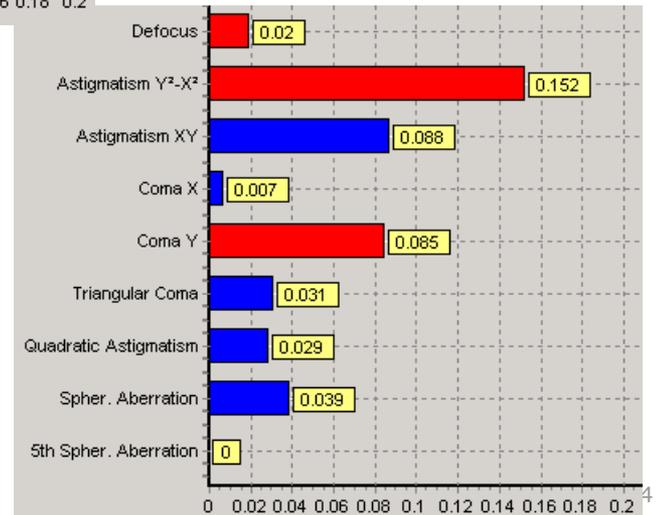
Aberrationen ohne thermische Belastung



thermische Belastung:
 $P_{ph} = 170 \text{ mW}$



thermische Belastung:
 $P_{ph} = 300 \text{ mW}$



Ziel & Ausblick

- Messung der Wellenfront am aktiven Lasermedium
- Dabei Übertragung des Versuchsaufbaus auf den Mikrochiplaser
- Vergleich der Messwerte mit berechneten Werten, die sich aus der berechneten Temperaturverteilung ergeben
- Untersuchung Aberrationen höherer Ordnung der thermischen Linse in Abhängigkeit verschiedener Parameter (z.B. ω_p)

Danksagungen

■ Recht herzlichen Dank an

- Prof. Dr. Peter Hartmann
- Frank Ebert
- Tobias Baselt
- Pascal Böswetter



Westsächsische Hochschule Zwickau

University of Applied Sciences
Fachbereich Physikalische Technik/Informatik
Studiengang Mikrotechnologie (dual)

