

# Thermische Aktuation an optischen Elementen des Gravitationswellendetektors GEO600

Stefan Hild



Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik  
(Albert-Einstein-Institut)

Universität Hannover 



## *Die Idee*

**Thermische** Aktuaton an optischen Elementen

## *Stand der Realisierung*

- Korrektur des Krümmungsradius eines Interferometerspiegels
- Kompensation von „thermal lensing“ im Beamsplitter
- Bandbreitenregelung des Signalrecyclings



# Idee der *thermischen* Aktuaton

## Rahmenbedingen bei GEO600:

Die optischen Elemente können nicht direkt physikalisch kontaktiert werden.

⇒ Erhöhung des thermischen Rauschen

⇒ Verringerung der Detektorempfindlichkeit

Interferometerkomponenten sind in einem UHV-System installiert

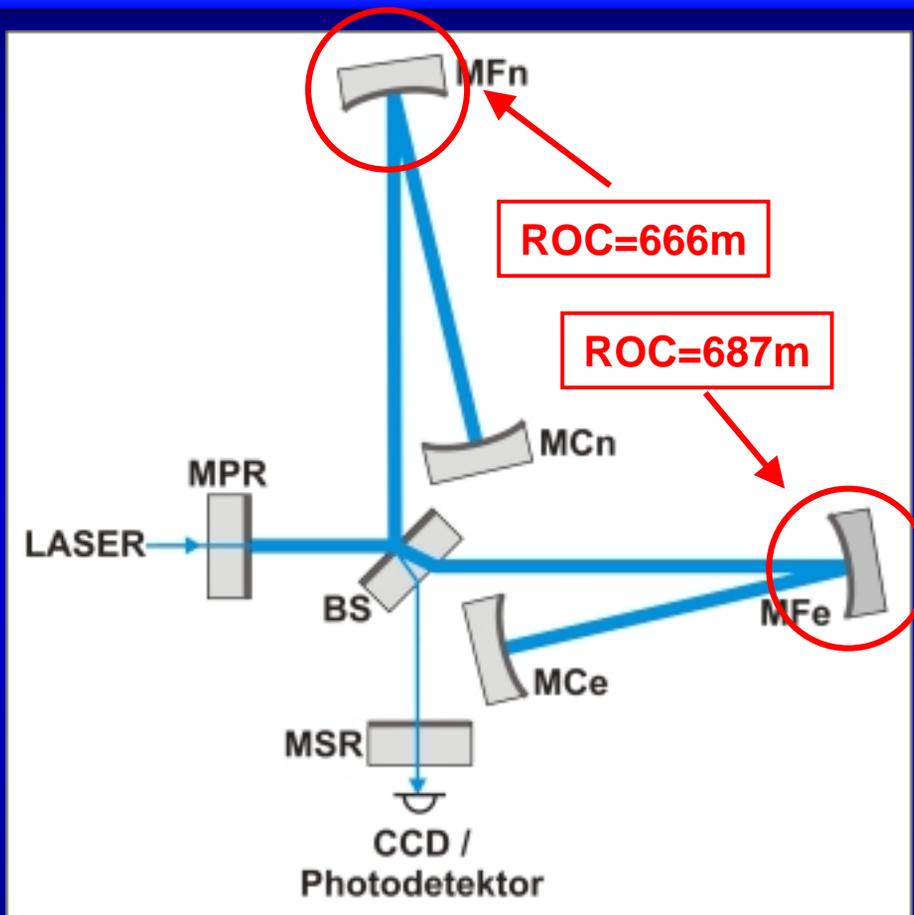
## Lösung:

- Mittels Wärmeübertrag durch Strahlung wird die gewünschte Temperaturverteilung im optischen Element induziert.

- Geschicktes Ausnutzen von  $\frac{dn}{dT}$  und  $\frac{dl}{dT}$

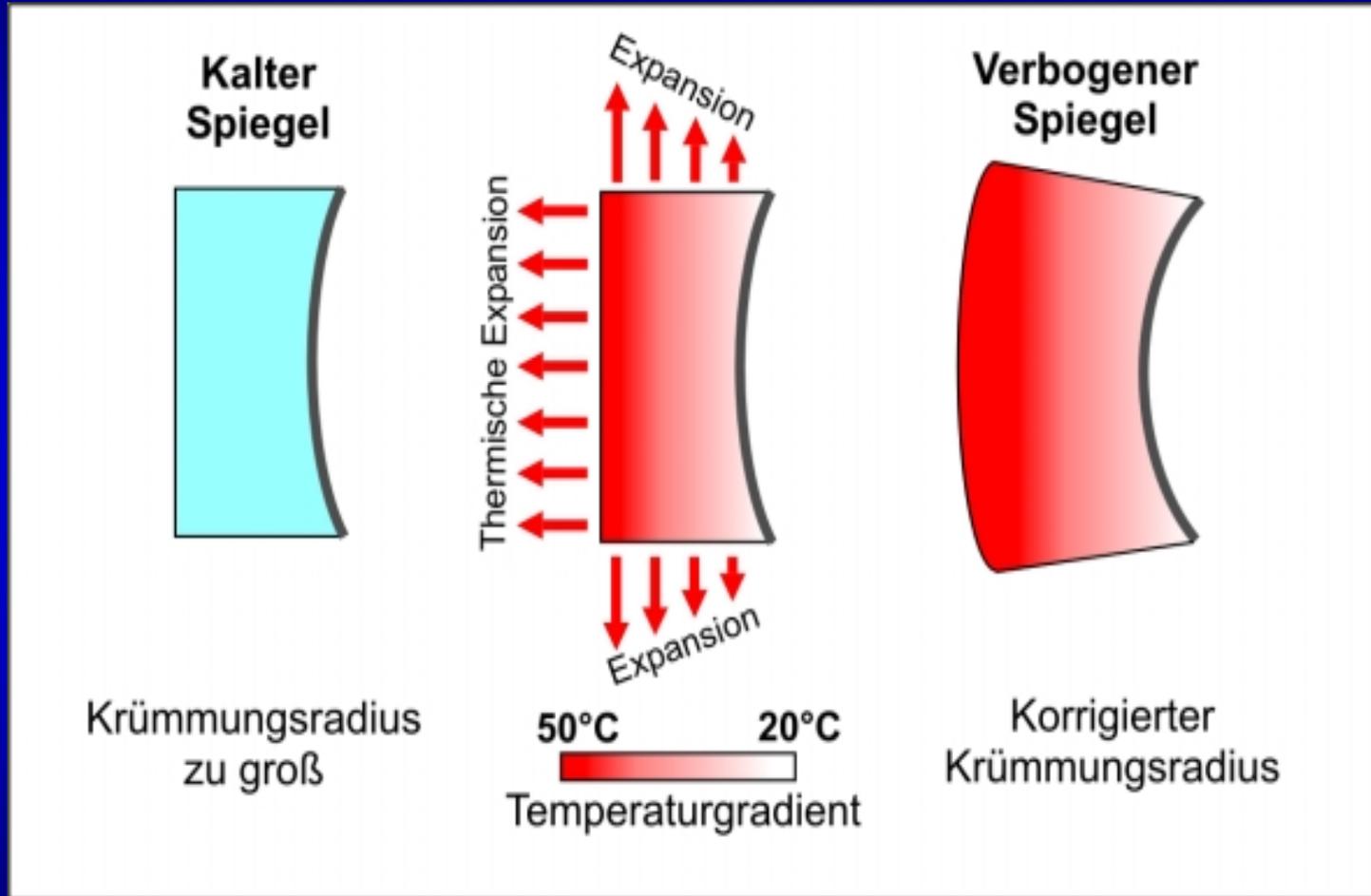


# Falsche Krümmungsradien der Spiegel



- Endspiegel (MFe, MFn) mit falschen (unterschiedlichen) ROC
- **DARK PORT NICHT „DARK“ !**  
⇒ (schlechter Interferometerkontrast, geringe Fehlersignale, hohe Cavity-Verluste)

# Verbiegen des Spiegels



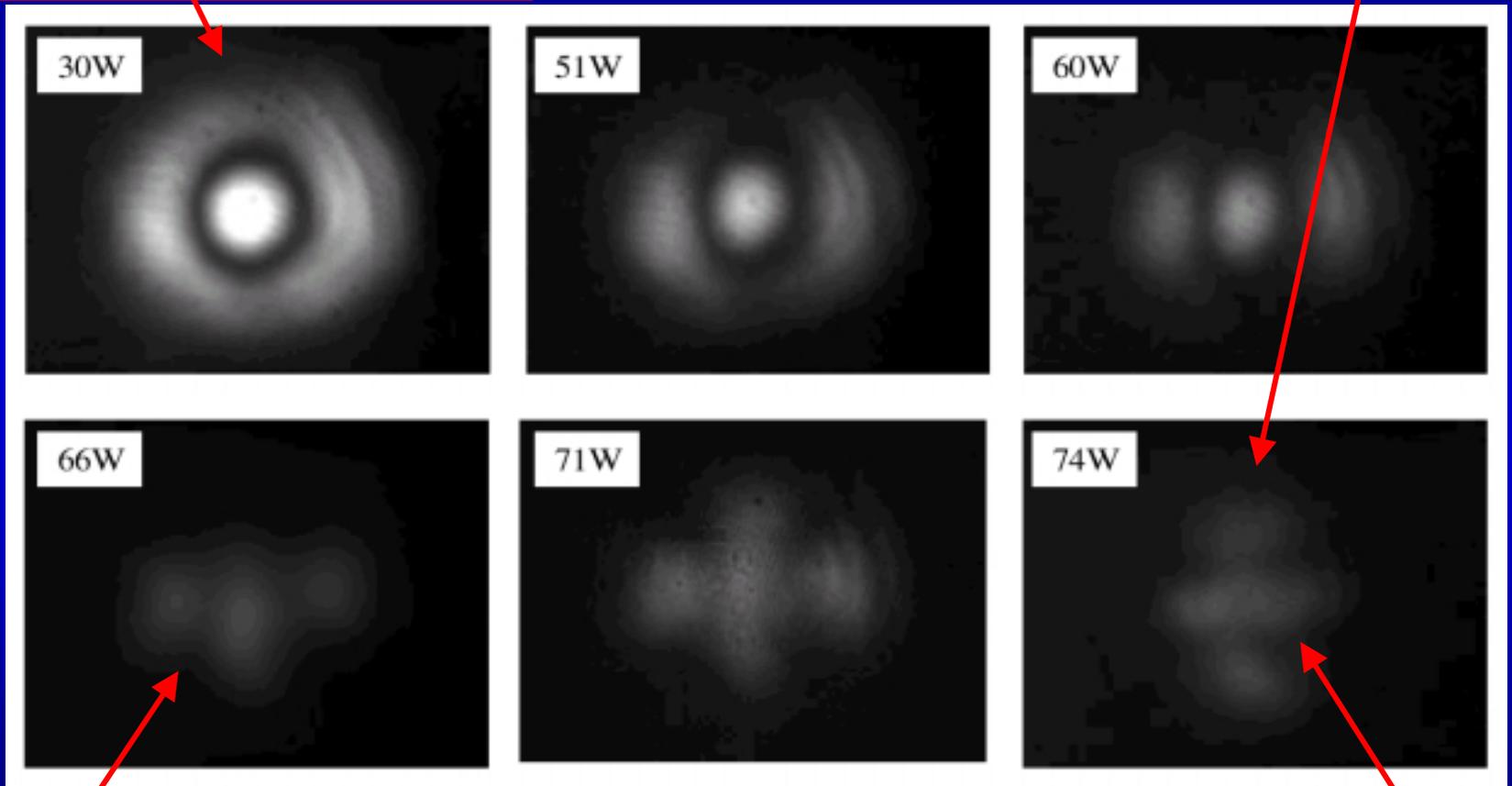
Korrektur durch gezielt induzierten longitudinalen Temperaturgradienten



# ROC-Korrektur an MFe

Intra-Cavity-Power  $\approx 180$  W

Intra-Cavity-Power  $\approx 270$  W

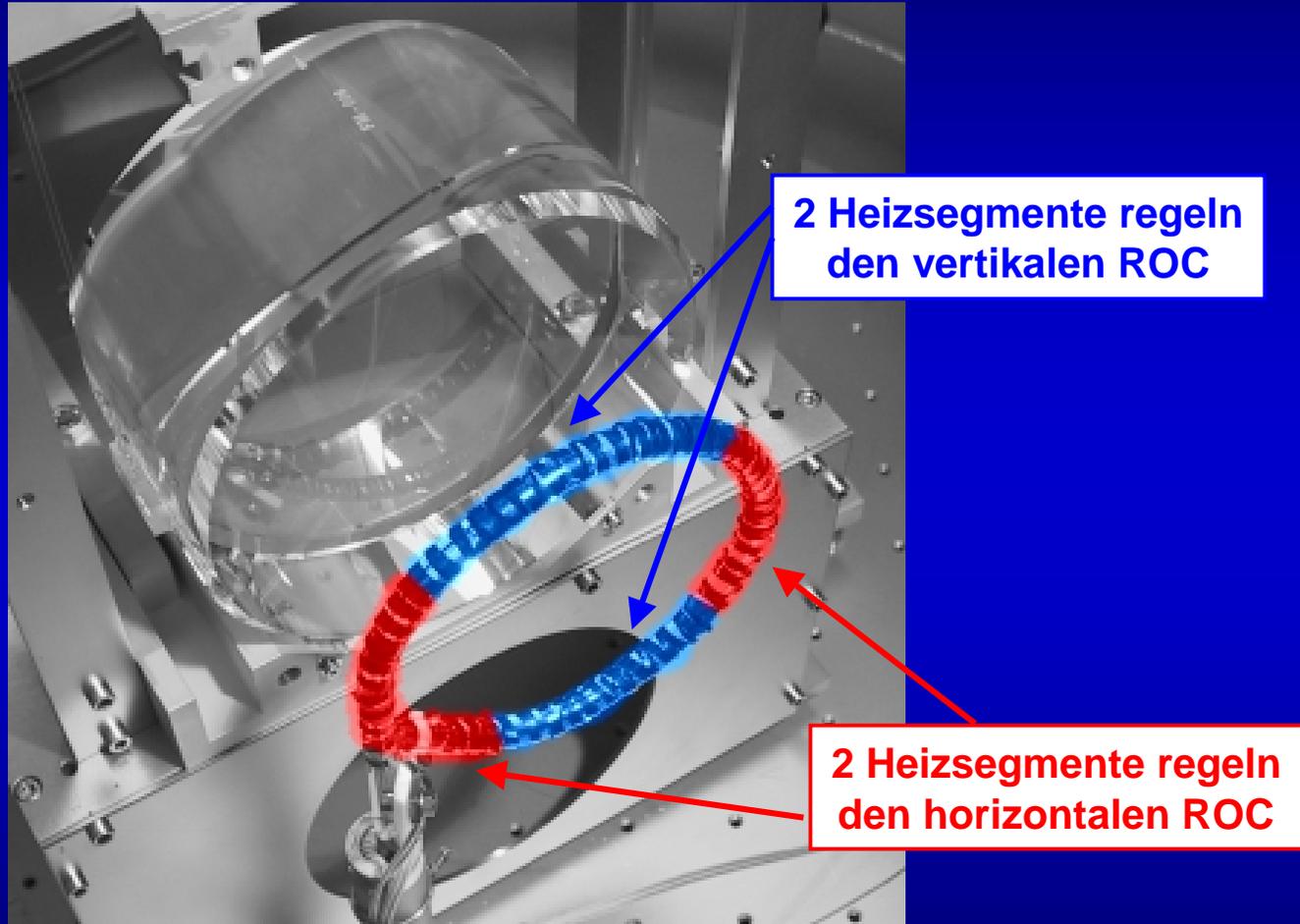


vertikal: kompensiert  
horizontal: nicht kompensiert

vertikal: überkompensiert  
horizontal: kompensiert

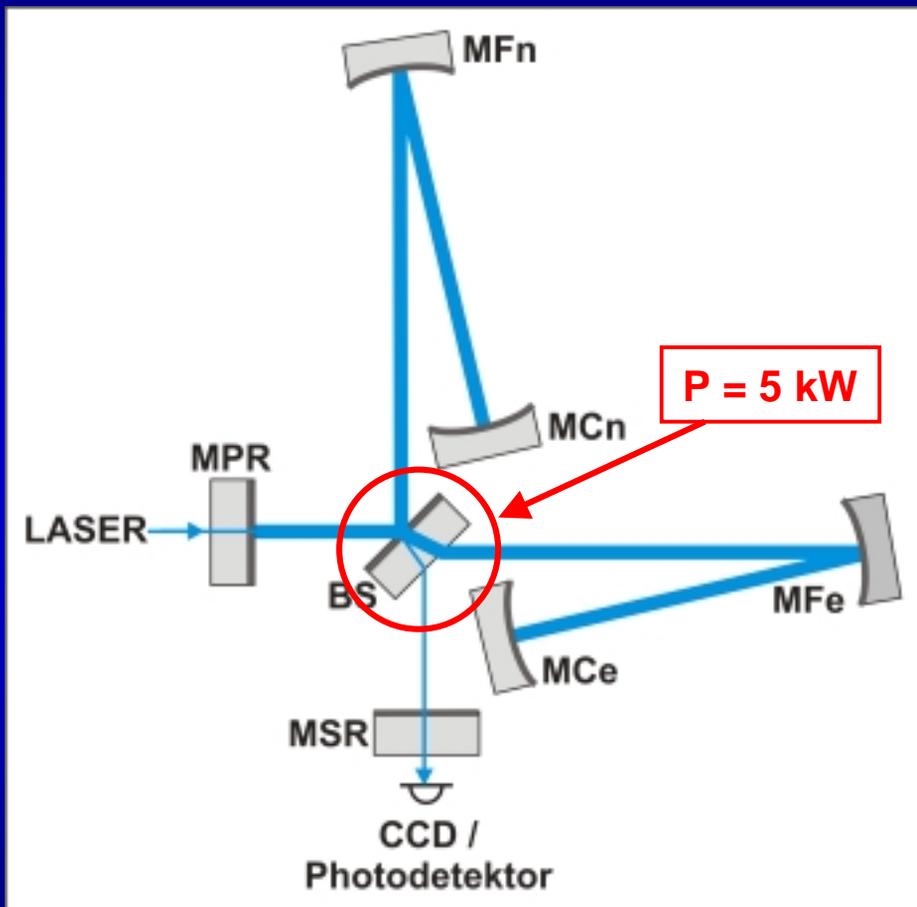


# Vollständige Korrektur durch Segmentheater



Heater mit separat ansteuerbaren Heizsegmenten ermöglicht eine inhomogene Verbiegung des Spiegels.

# Thermischen Linse im Beamsplitter



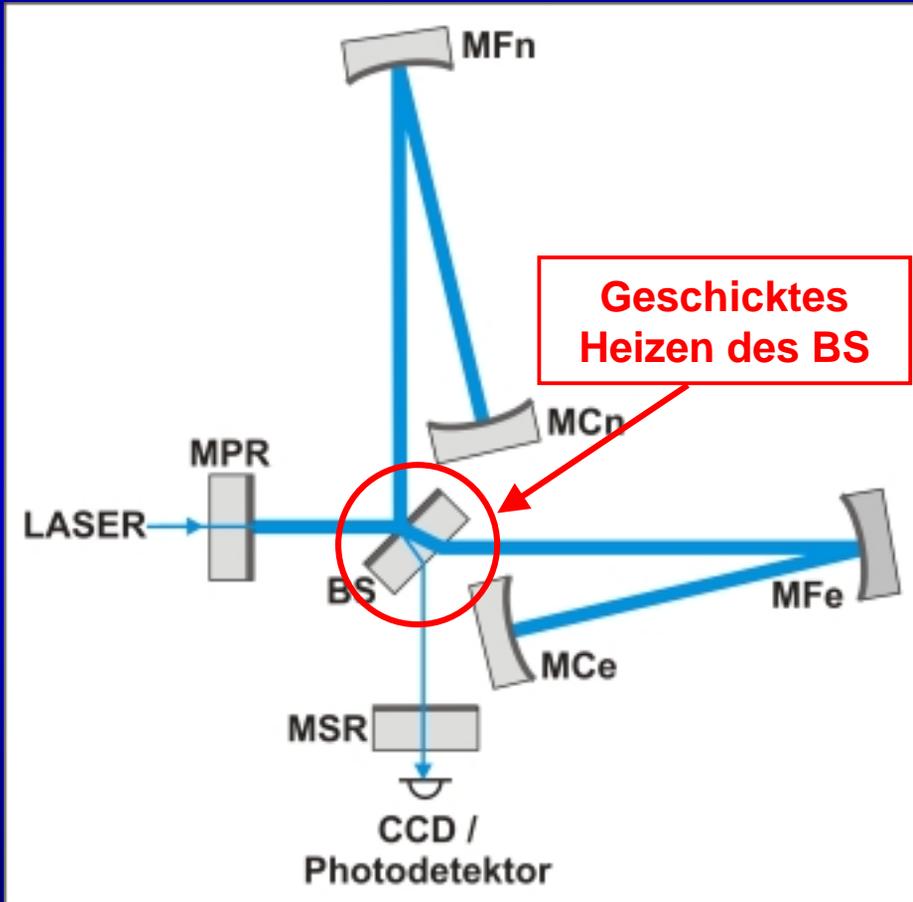
- Absorption im Beamsplitter  $\approx 0,5$  ppm/cm
- Absorbierte Leistung  $\approx 50$  mW
  - $\Rightarrow$  Inhomogene Temperaturverteilung
  - $\Rightarrow$  Inhomogener Brechungsindex
  - $\Rightarrow$  Ausbildung einer thermischen Linse
- Brennweite des BS  $\approx 1$  km

Die am Beamsplitter interferierenden Strahlen besitzen unterschiedliche:

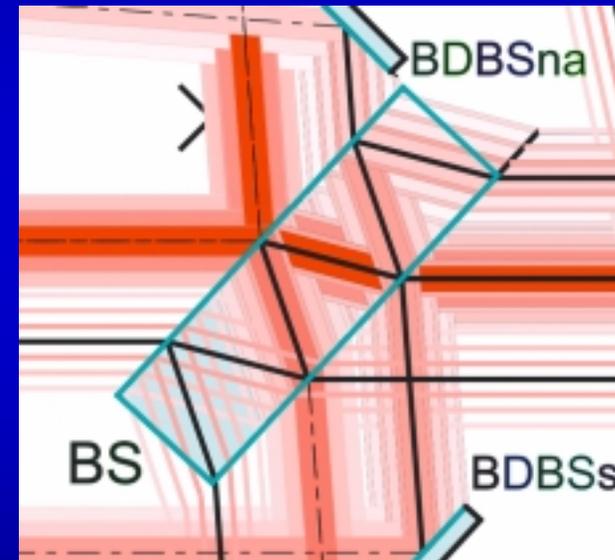
- Wellenfronten
- Strahldurchmesser

**Ungewollte Streuung in Moden höherer Ordnung !**

# Kompensation der Thermischen Linse

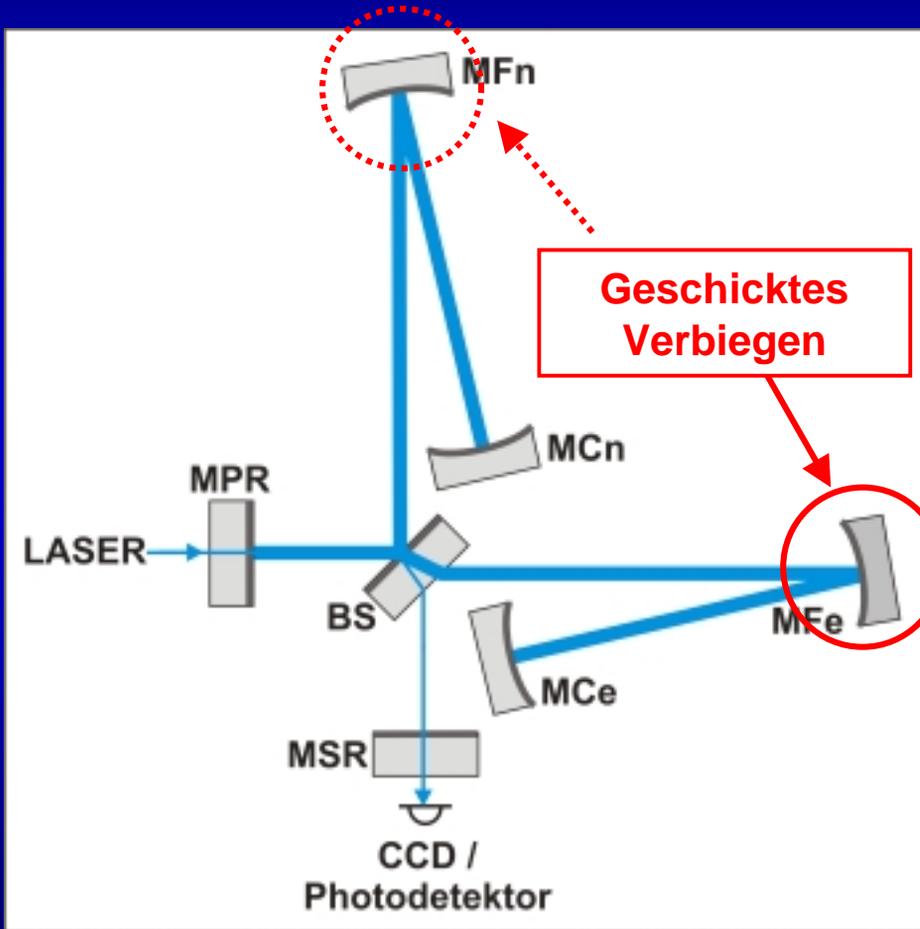


~~1. Idee:  
Kompensation durch geschicktes  
Heizen des Strahlteilers~~



Kein Platz am Beamsplitter  
aufgrund der für die Regelung des Interferometers benötigten Sekundärstrahlen

# Kompensation der Thermischen Linse



**2. Idee:**  
**Kompensation durch geschicktes Heizen und Verbiegen des fernen Endspiegels**

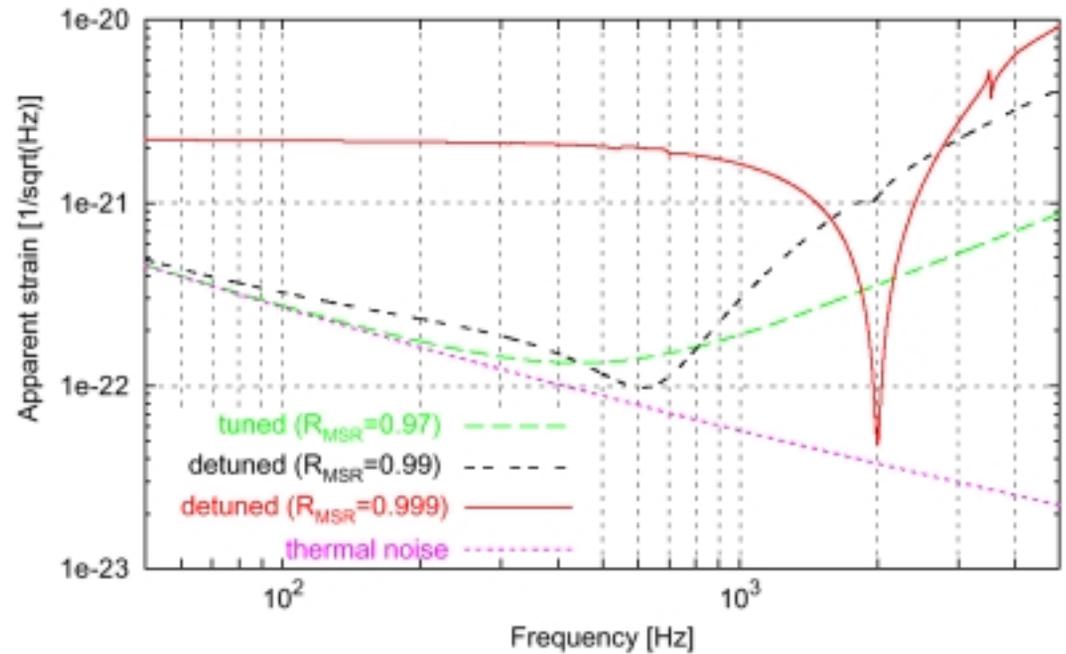
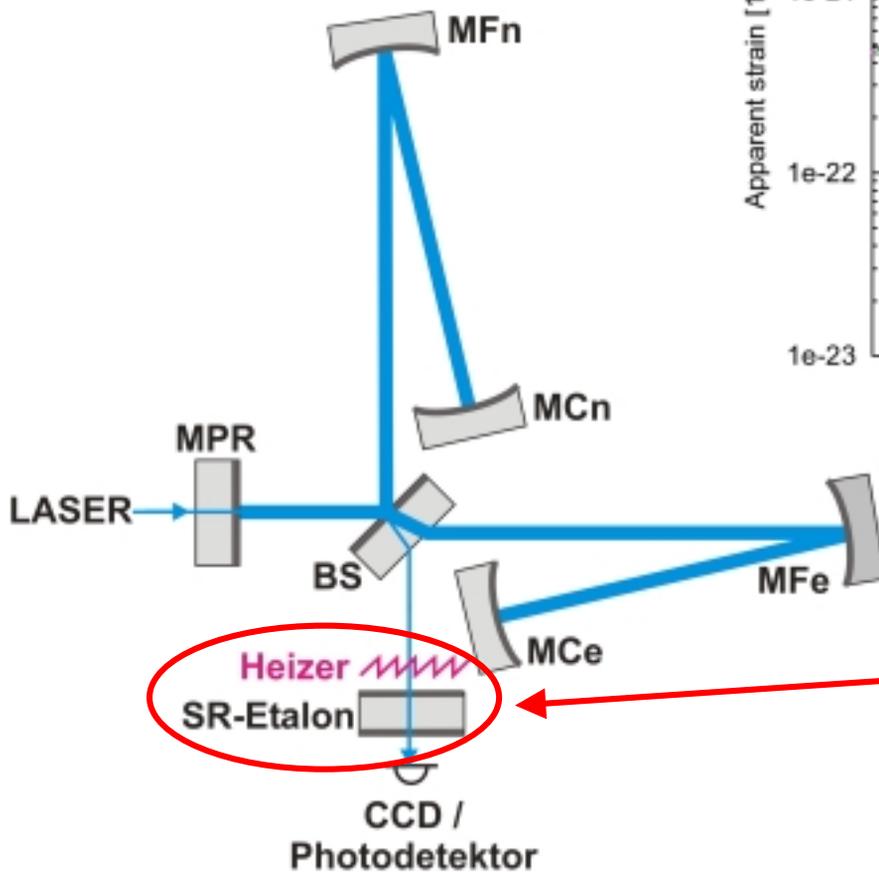
Nachteil: keine gleichzeitige vollständige Korrektur für Wellenfrontradius und Strahldurchmesser möglich.

**Simulationen:**

- Optimal ROC(MFe) = 648 m
- Streuung in höhere Moden wird um eine Faktor 3,5 unterdrückt.

# Bandbreitenkontrolliertes Signal-Recycling

Detektorbandbreite  $\propto$  Finesse  
der Signalrecycling-Cavity  $\propto$   
Reflektivität des SR-Spiegels

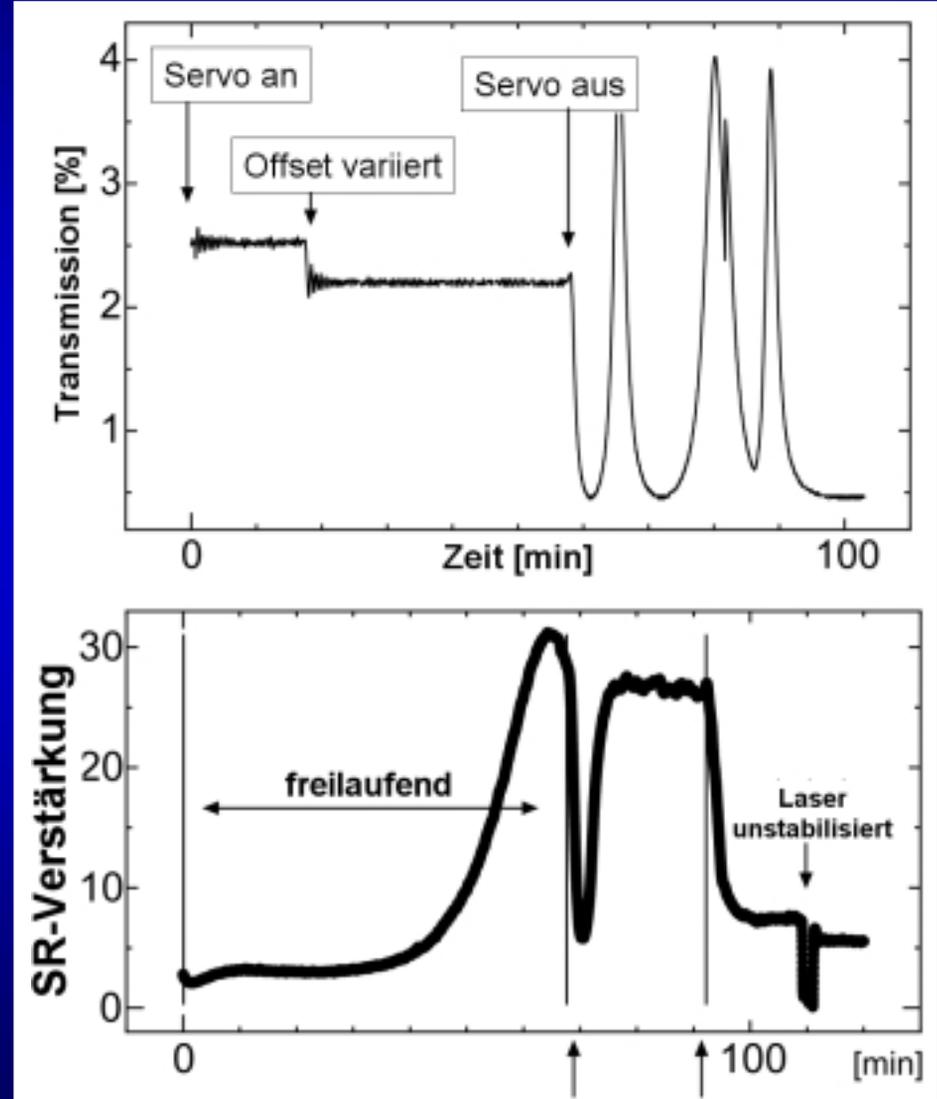
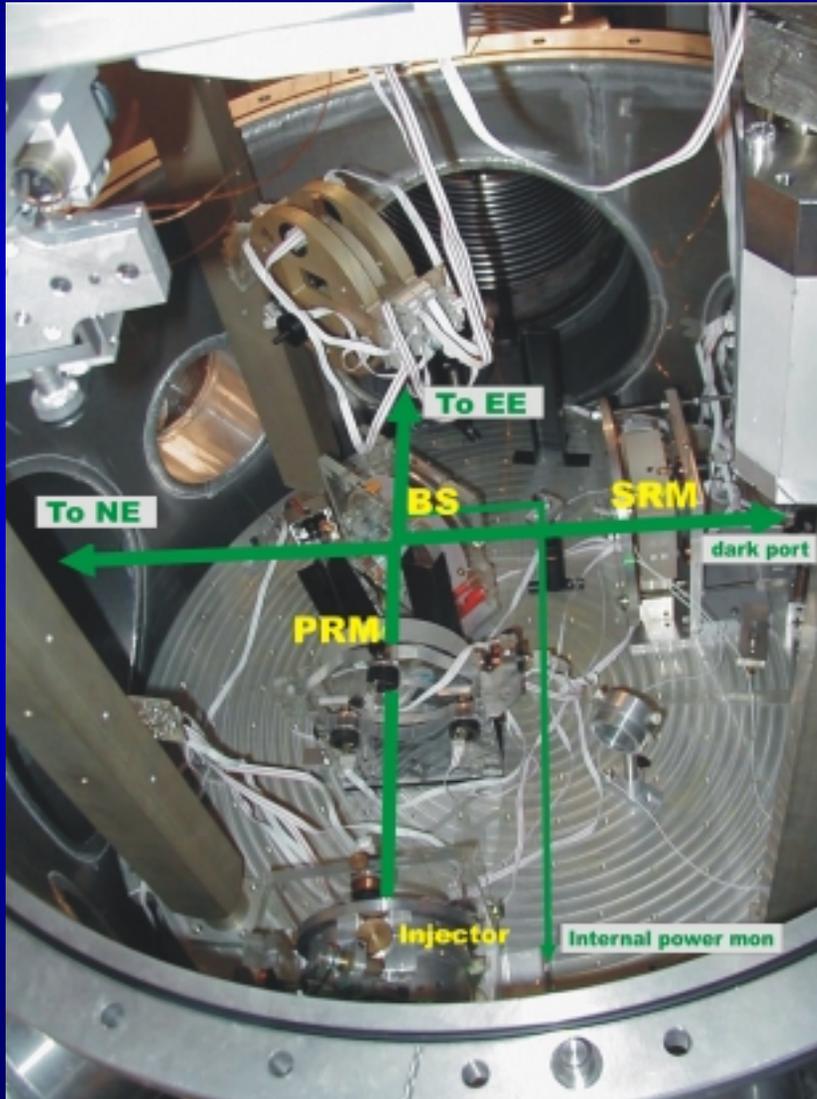


geheiztes Signalrecycling-  
Etalon ( $r=150\text{mm}$ ,  $d=75\text{mm}$ )

Reflektivität wird durch die  
Etalontemperatur eingestellt.



# Demonstration von thermisch durchstimmbarem Signalrecycling am 12m-Prototypen





# Zusammenfassung

Korrektur des Krümmungsradius eines Interferometerspiegels

- Bei GEO600 implementiert.
- Funktioniert hervorragend.

Kompensation von „thermal lensing“ im Beamsplitter

- Derzeit wird die Implementierung vorbereitet.

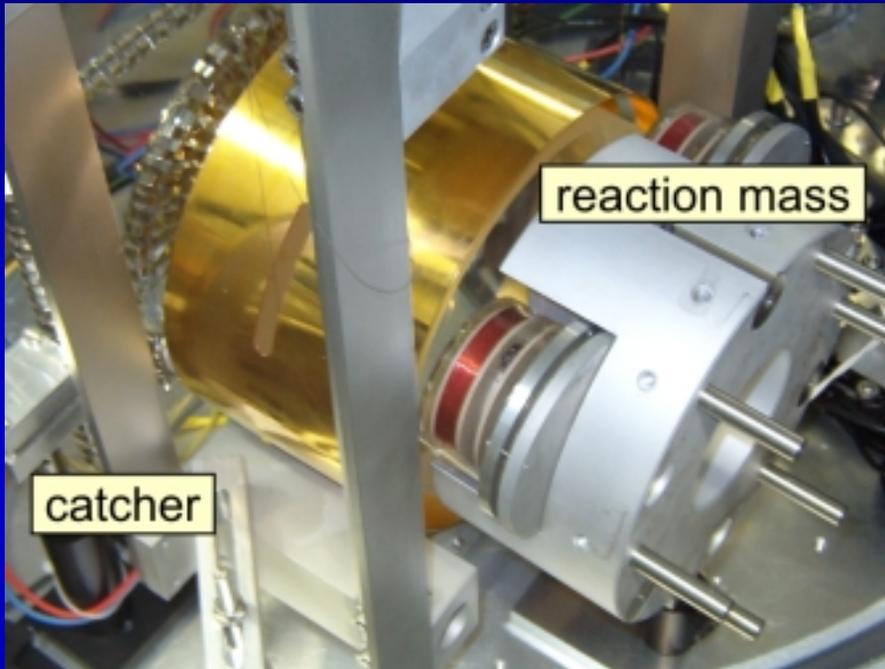
Bandbreitenregelung des Signal-Recyclings

- Erstmalige Demonstration am Garching 12m-Prototypen-Interferometer

## Thermische Aktuation:

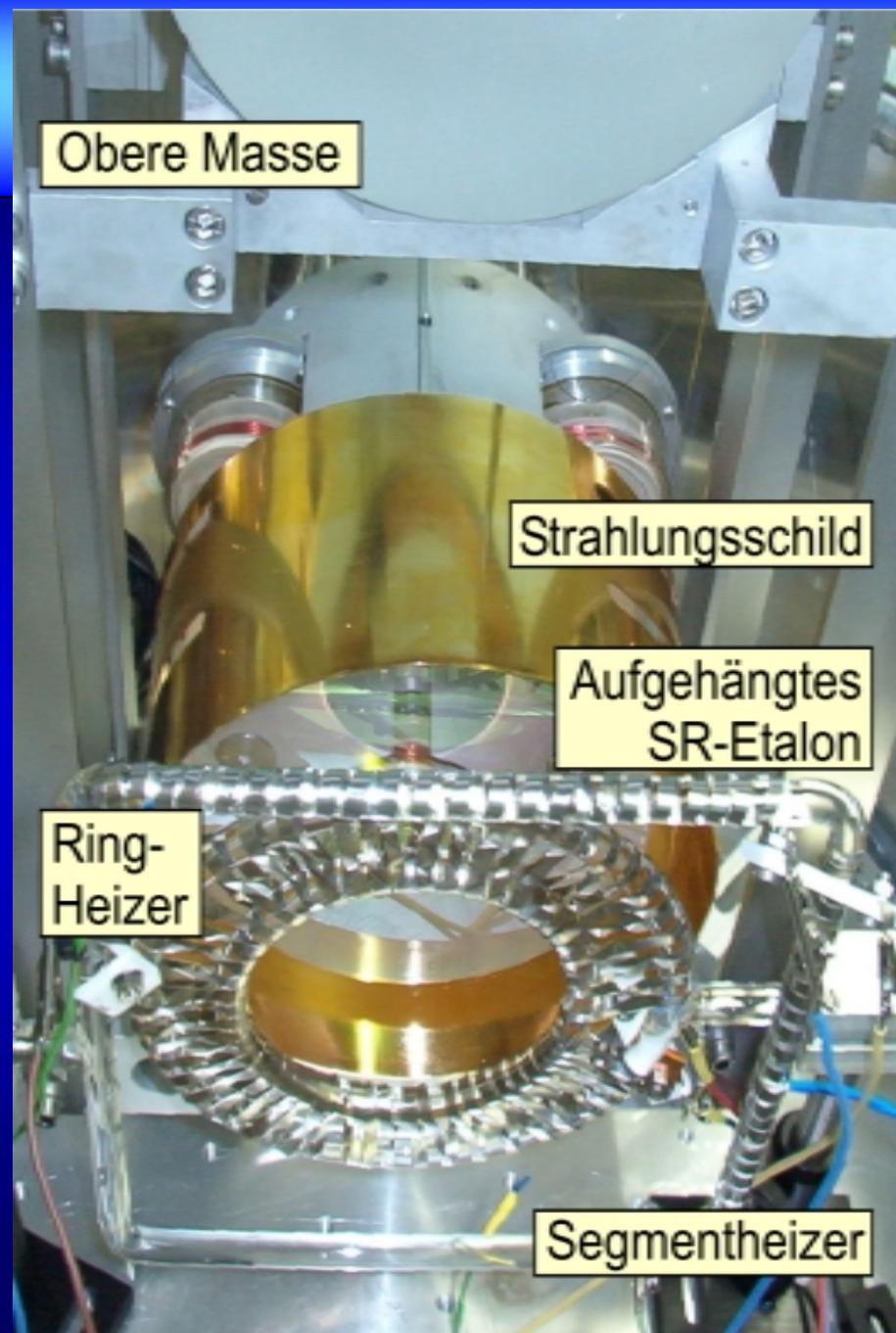
- sehr hilfreiches Werkzeug
- vielen Anwendungsbereichen
- einfache Realisierung

# Testaufbau mit GEO-Parametern



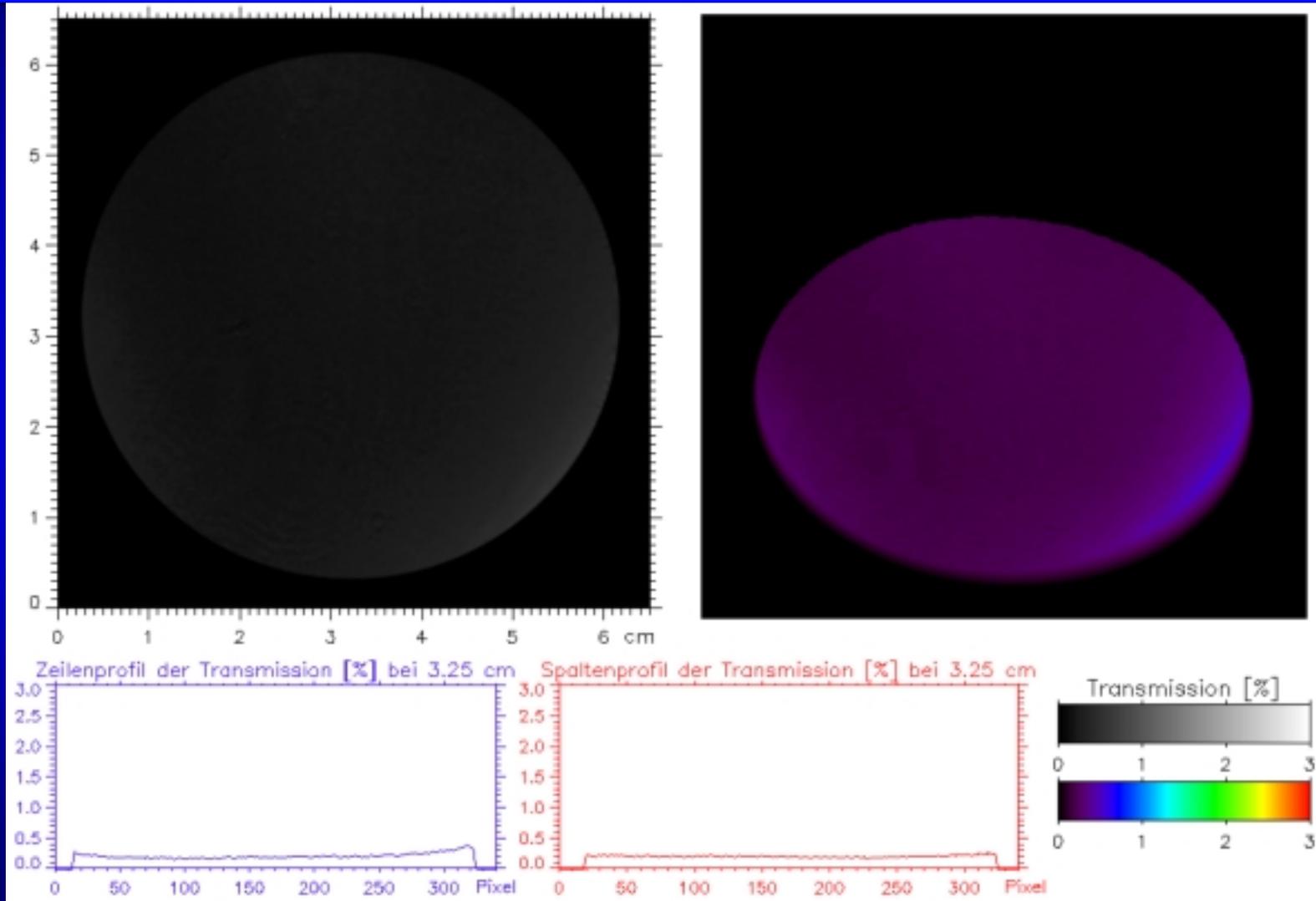
- als Pendel aufgehängtes SR-Etalon
- im Vakuum aufbaut
- identische thermische Umgebung

Strahlungsschild:  
Kupferring, galvanisiert, 0.4  $\mu\text{m}$  Gold





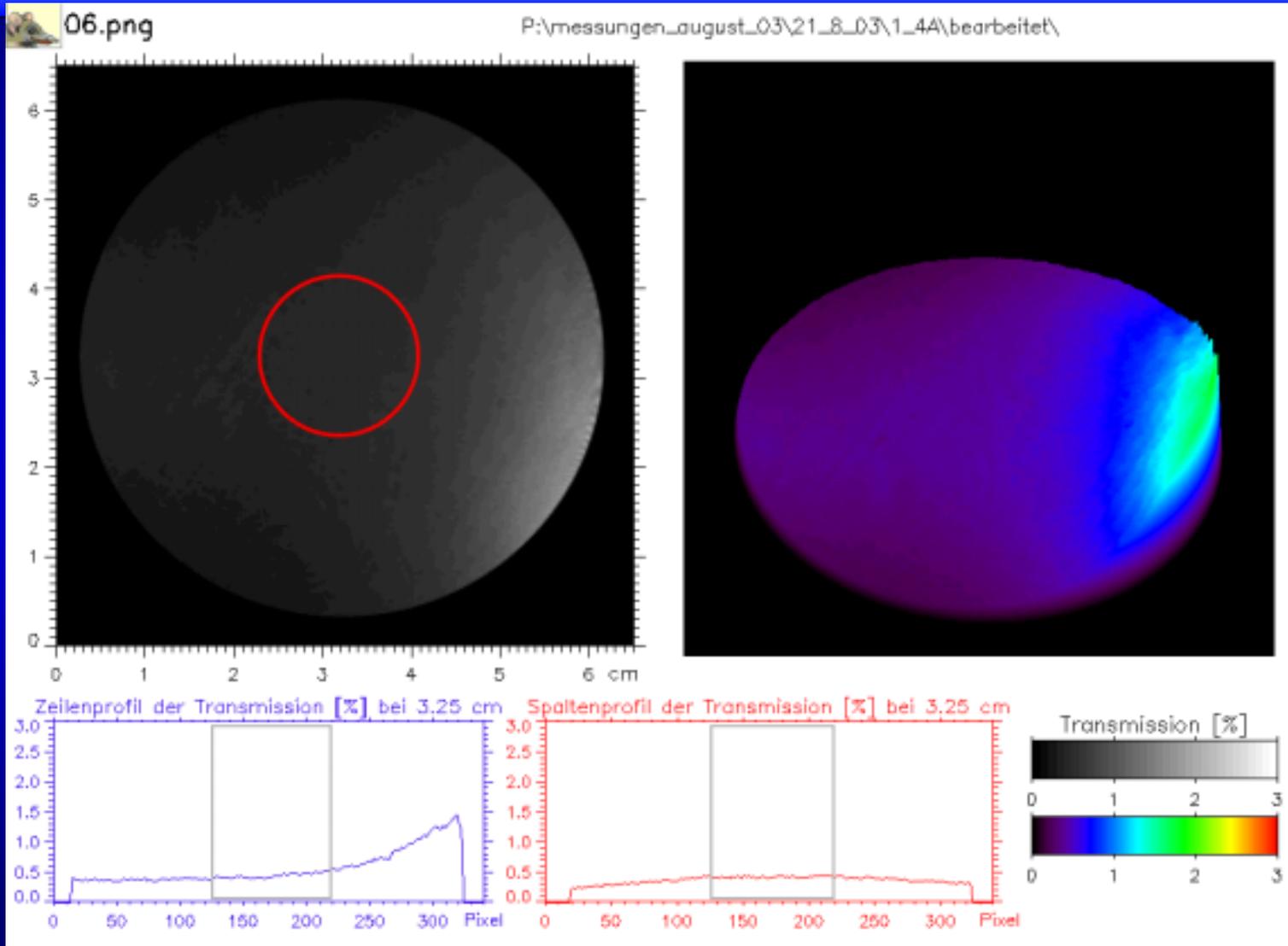
# Laterale Etalontransmission ohne und mit Strahlungsschild



Starke Verbesserung der lateralen Homogenität der Etalontransmission durch Strahlungsschild



# Beste bisher erzielte Ergebnisse (limitiert durch intrinsischen Etalonfehler)



Maximale Variation der optischen Etalondicke (über 18mm) = 20nm