

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

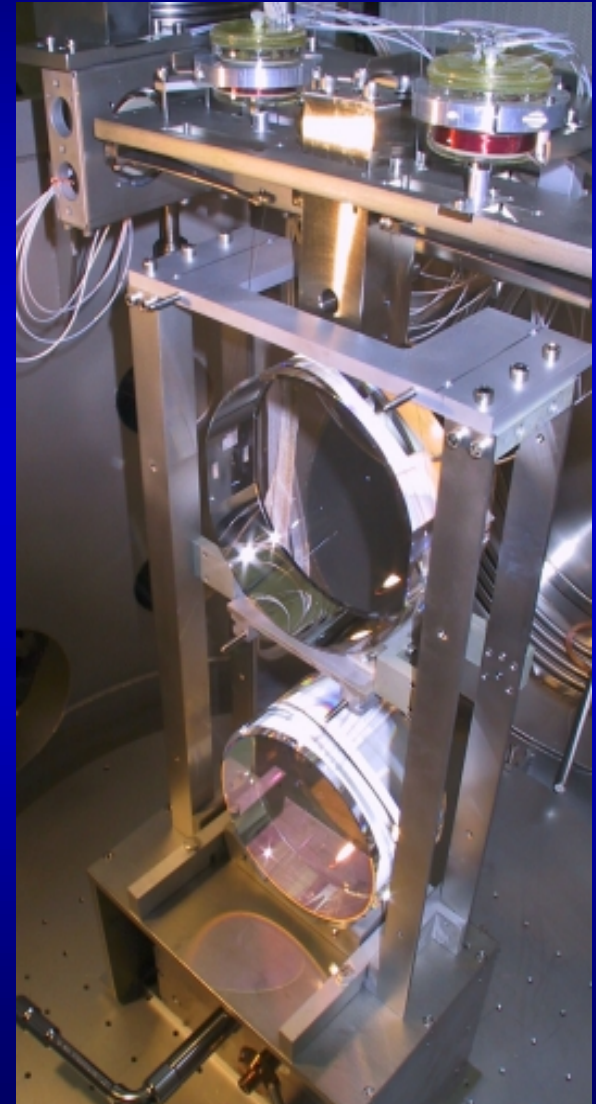
⇒ Verringerung der Detektorempfindlichkeit

Interferometerkomponenten sind in einem UHV-System installiert

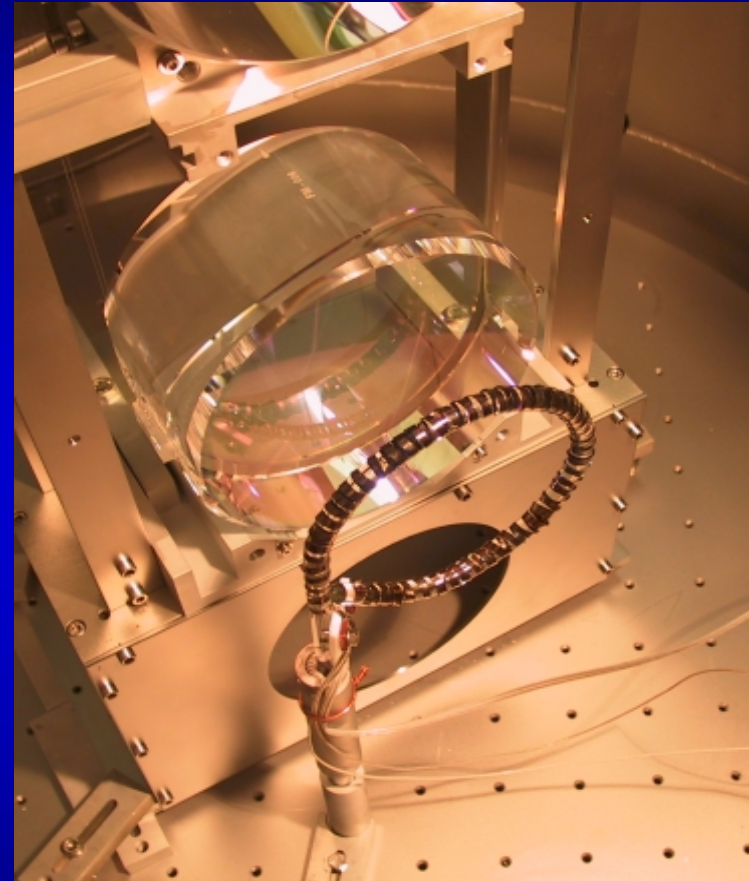
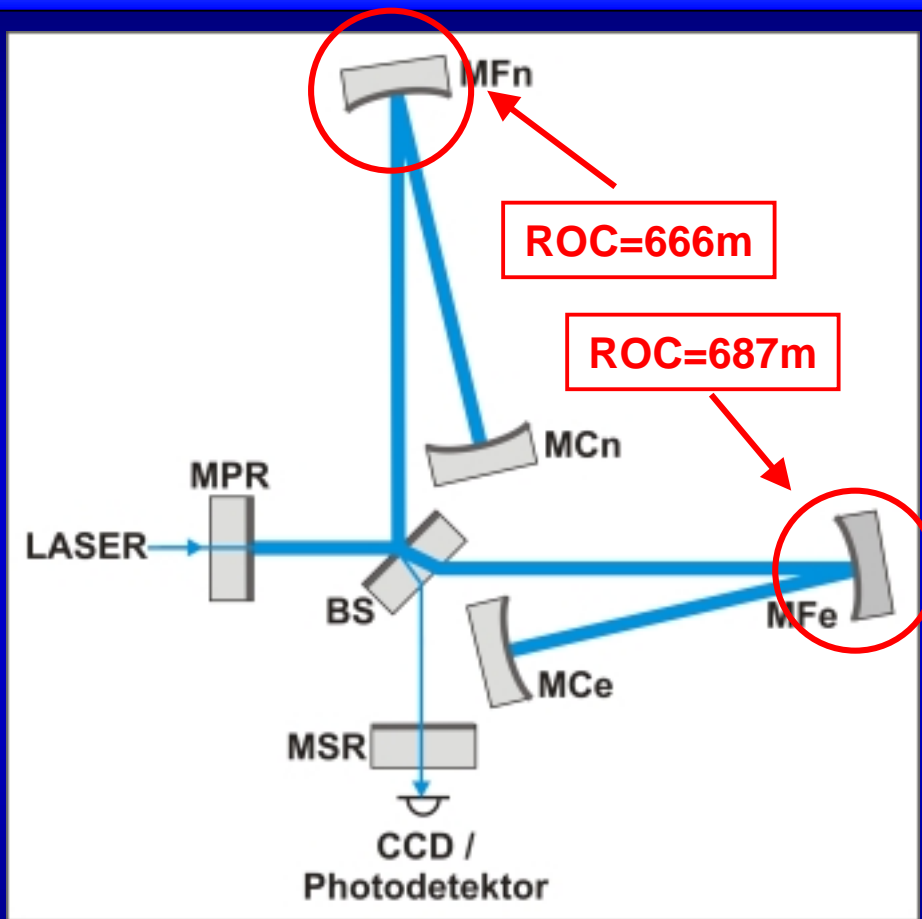
Lösung:

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

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

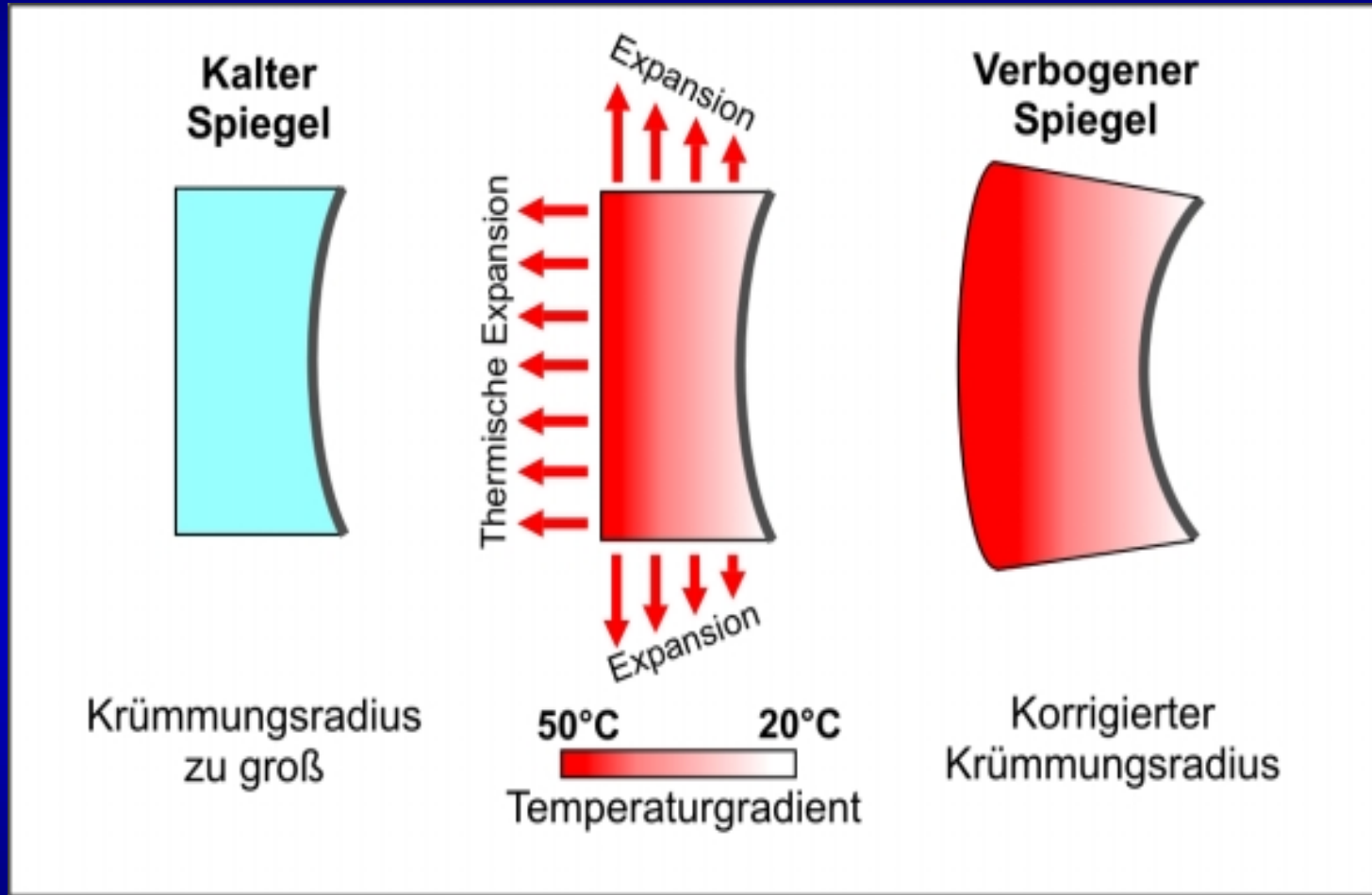


Falsche Krümmungsradien der Spiegel



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

Verbiegen des Spiegels

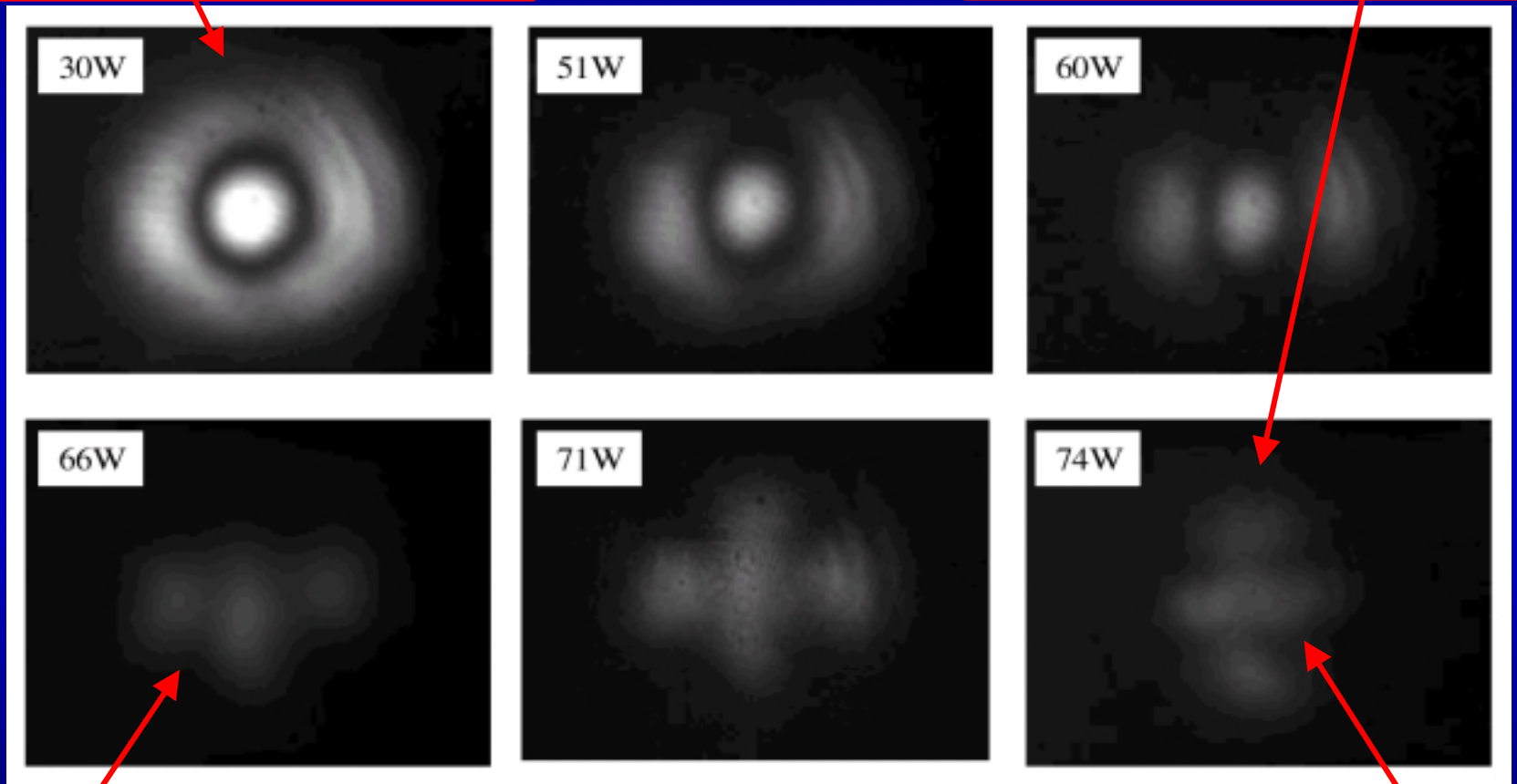


Korrektur durch gezielt induzierten longitudinalen Temperaturgradienten

ROC-Korrektur an MFe

Intra-Cavity-Power ≈ 180 W

Intra-Cavity-Power ≈ 270 W

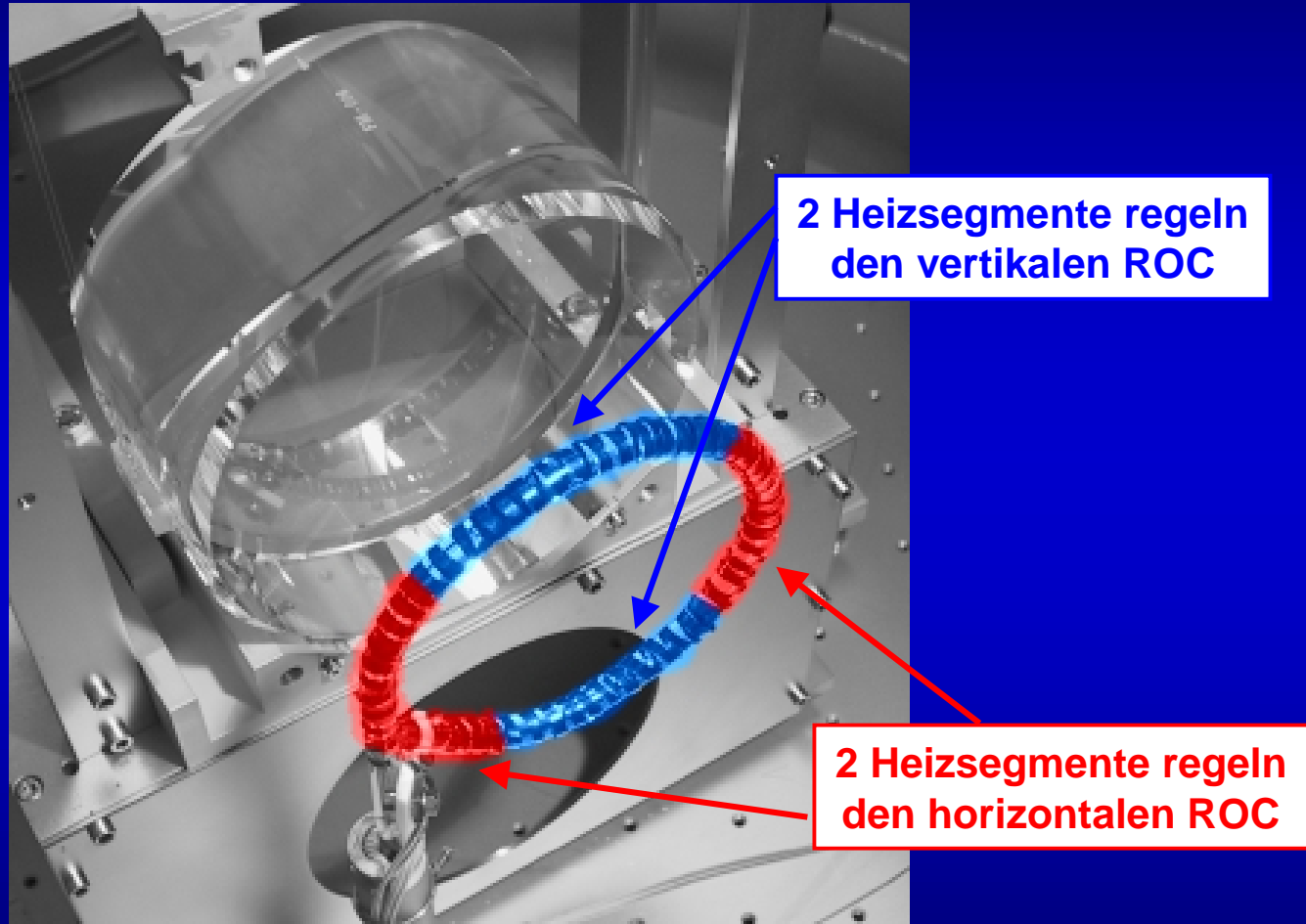


vertikal: kompensiert
horizontal: nicht kompensiert

vertikal: überkompensiert
horizontal: kompensiert

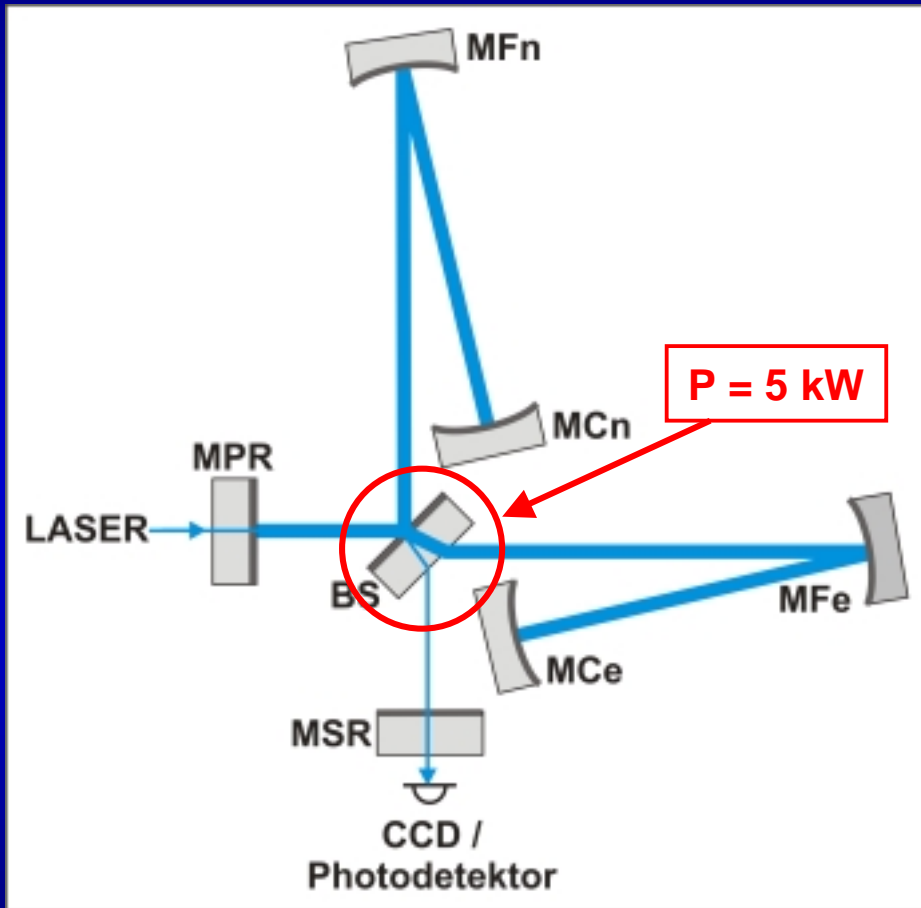


Vollständige Korrektur durch Segmentheater



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

Thermischen Linse im Beamsplitter



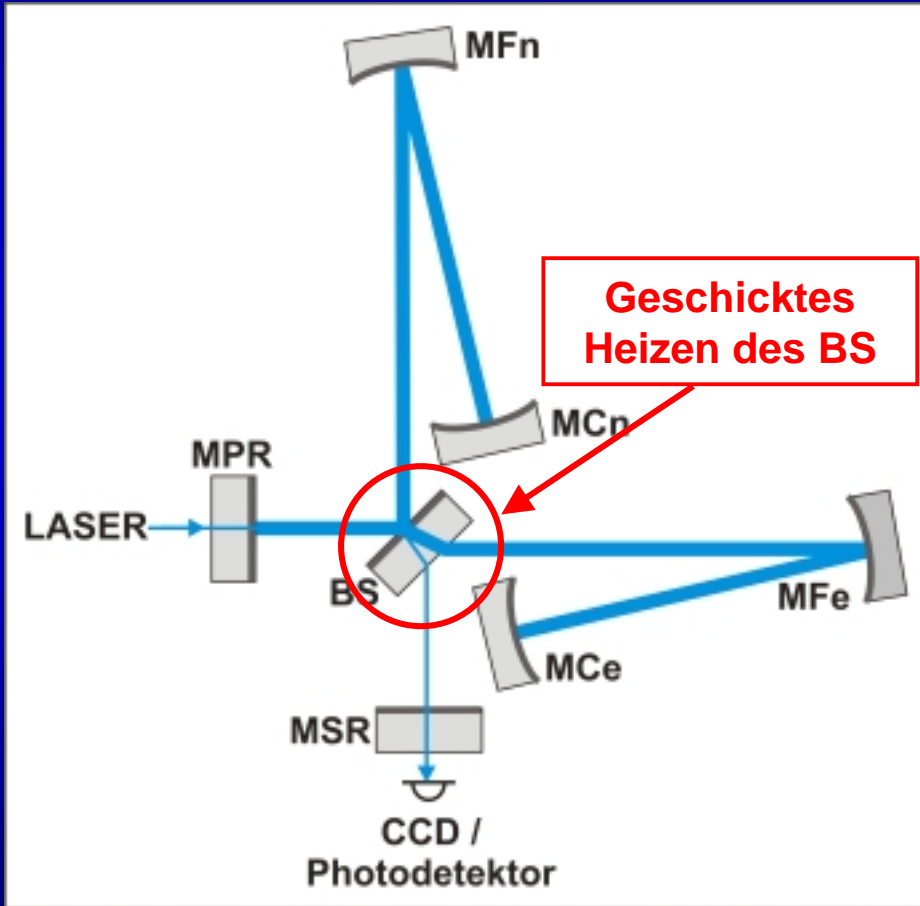
- Absorption im Beamsplitter $\approx 0,5 \text{ ppm/cm}$
- Absorbierte Leistung $\approx 50 \text{ mW}$
 - \Rightarrow Inhomogene Temperaturverteilung
 - \Rightarrow Inhomogener Brechungsindex
 - \Rightarrow Ausbildung einer thermischen Linse
- Brennweite des BS $\approx 1 \text{ km}$

Die am Beamsplitter interferierenden Strahlen besitzen unterschiedliche:

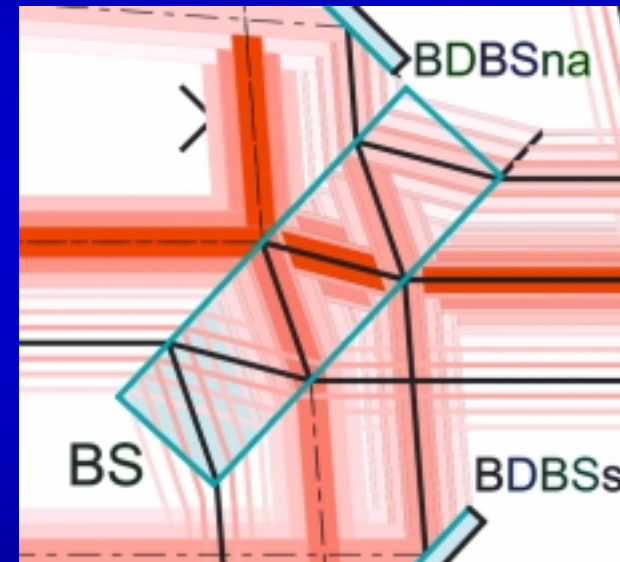
- Wellenfronten
- Strahldurchmesser

Ungewollte Streuung in Moden höherer Ordnung !

Kompensation der Thermischen Linse

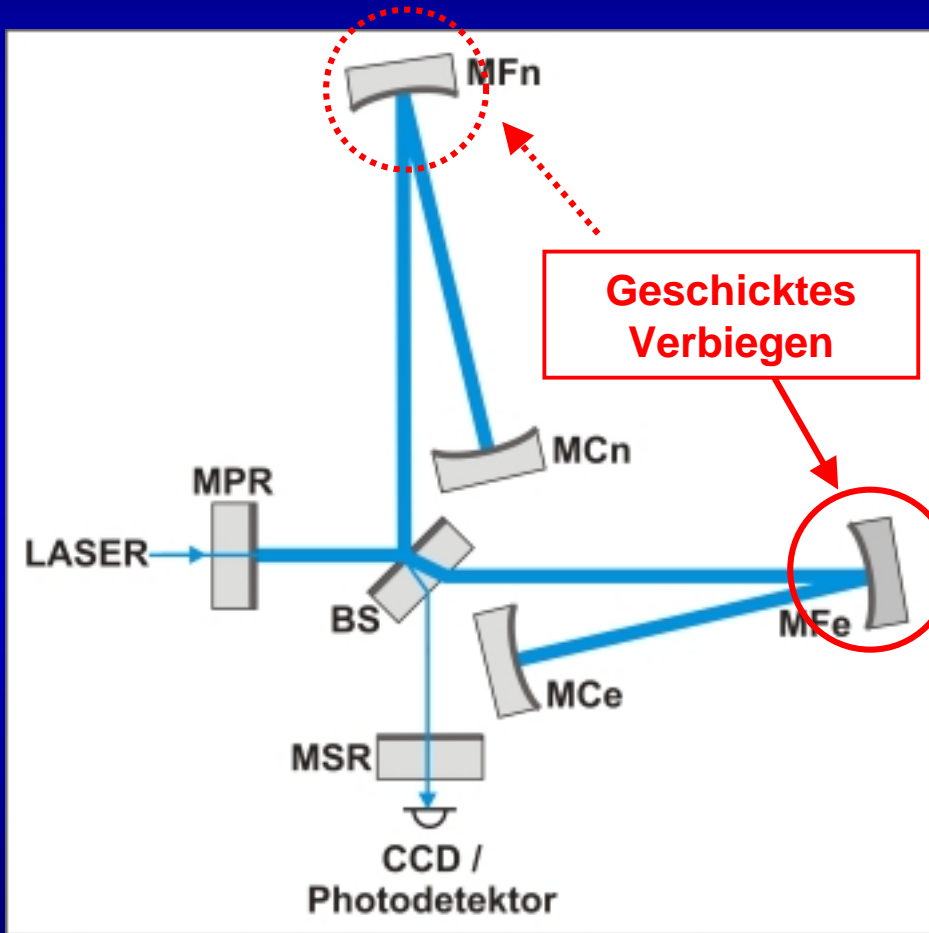


~~1. Idee:
Kompensation durch geschicktes
Heizen des Strahlteilers~~



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

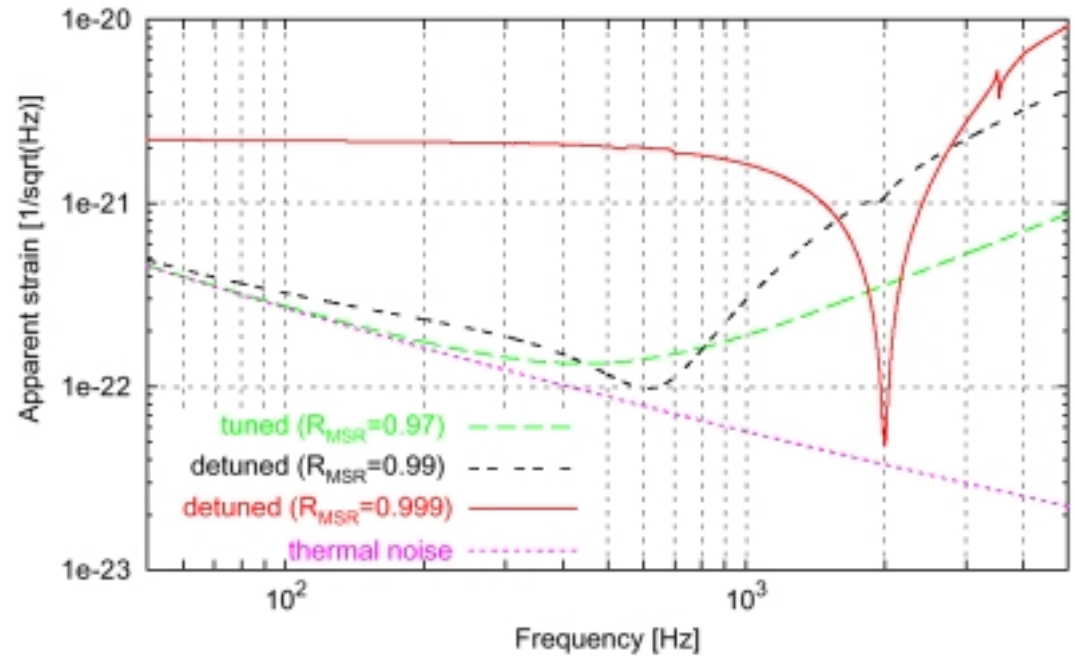
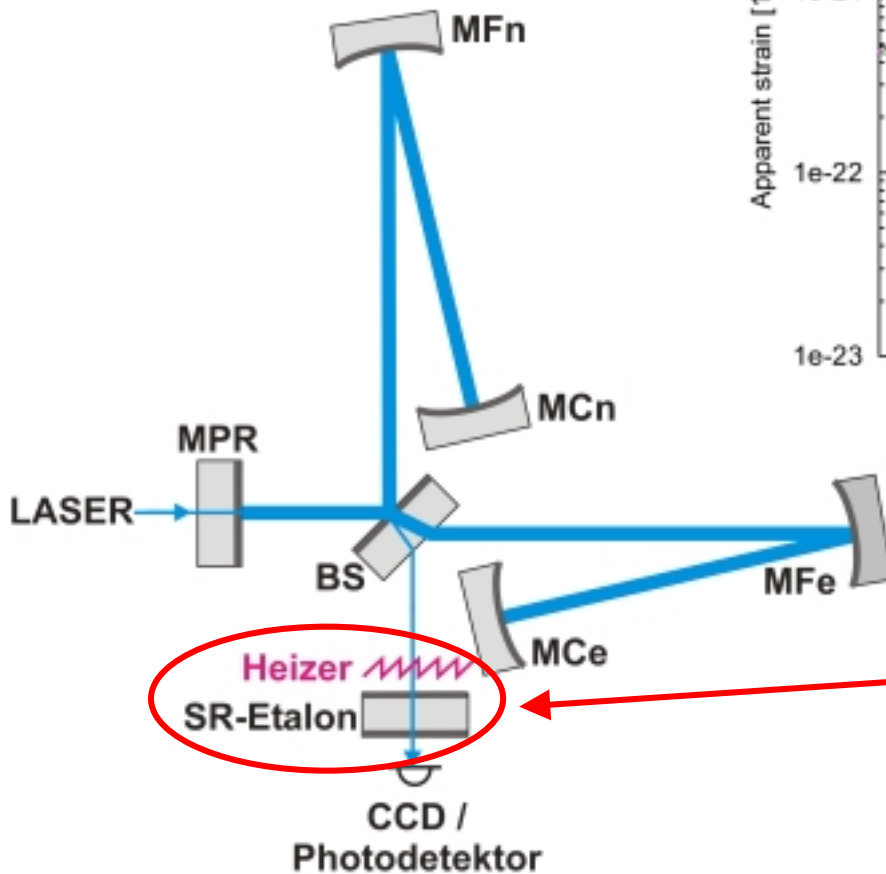
Nachteil: keine gleichzeitige vollständige Korrektur für Wellenfrontradius und Strahldurchmesser möglich.

Simulationen:

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

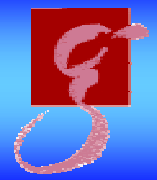
Bandbreitenkontrolliertes Signal-Recycling

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

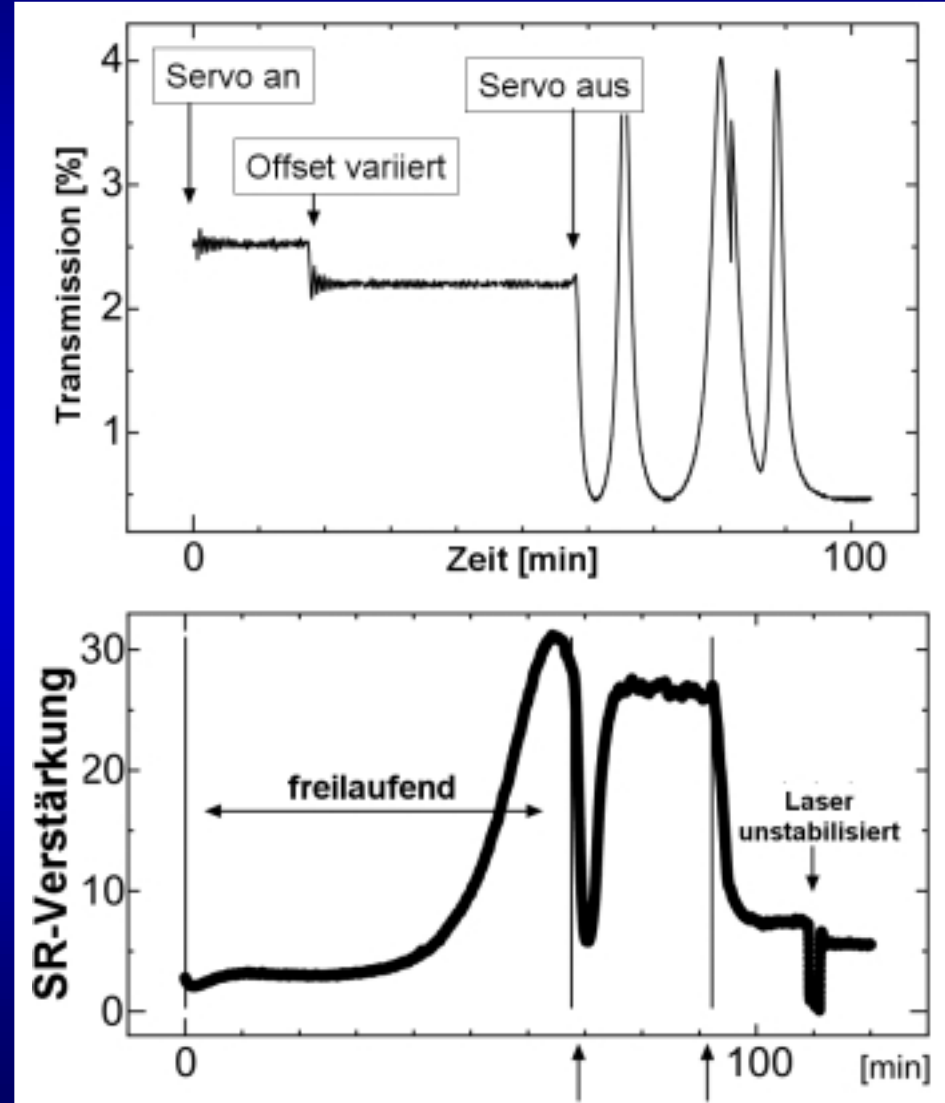
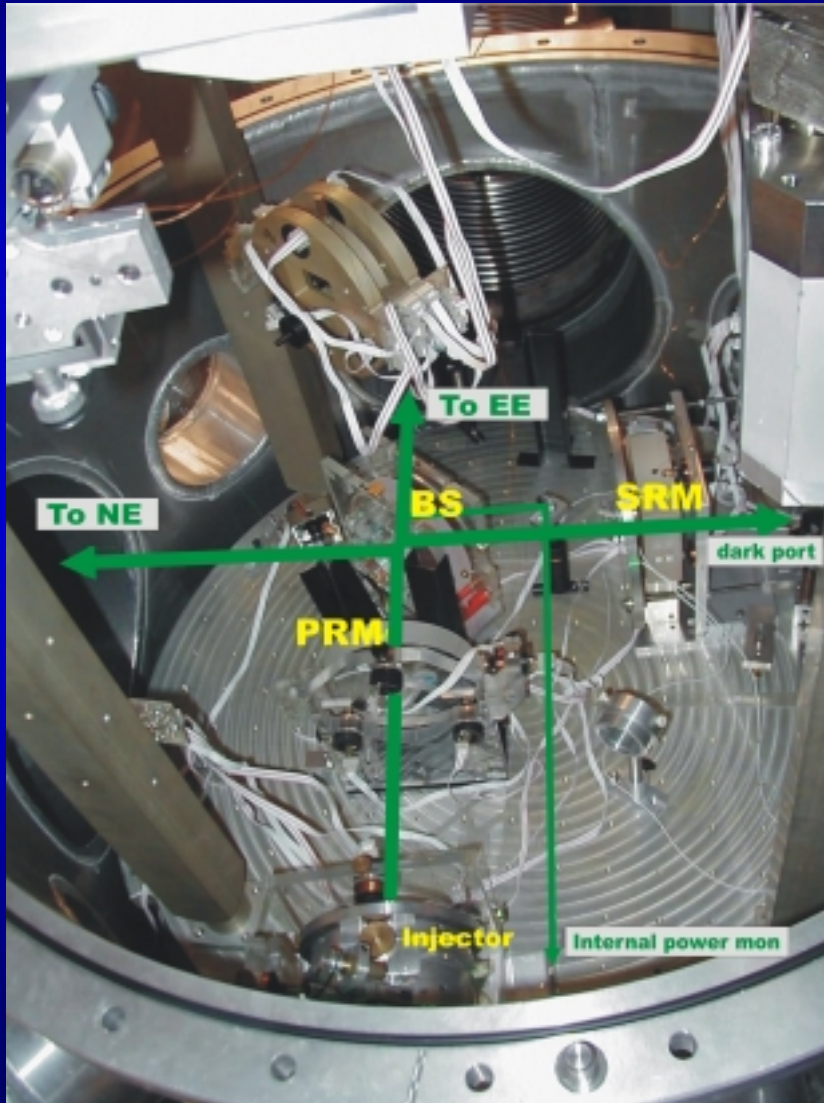


geheiztes Signalrecycling-
Etalon ($r=150\text{mm}$, $d=75\text{mm}$)

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.

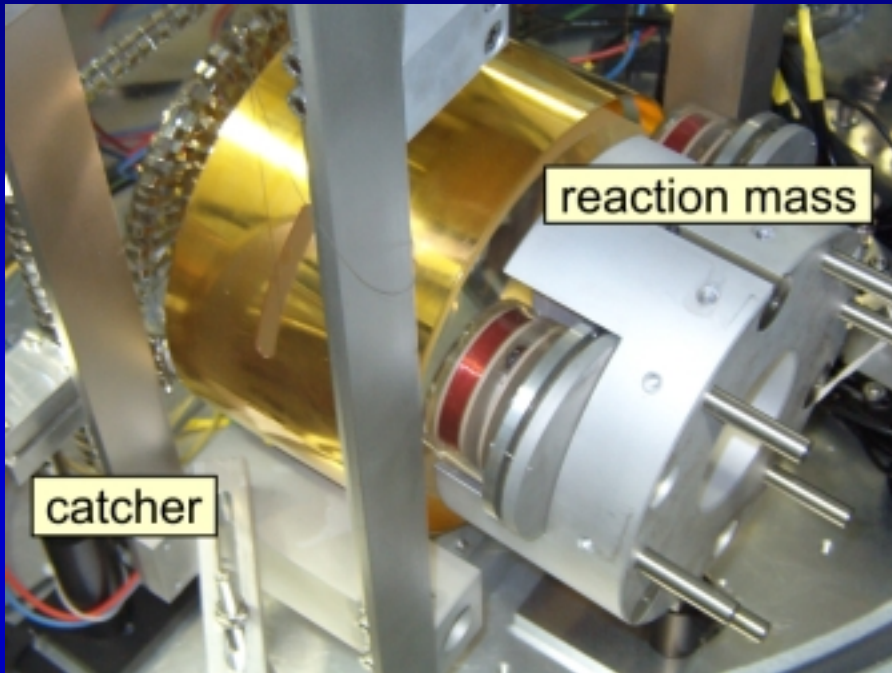
Bandbreitenregelung des Signal-Recyclings

- Erstmalige Demonstration am Garching 12m-Prototypen-Interferometer

Thermische Aktuation:

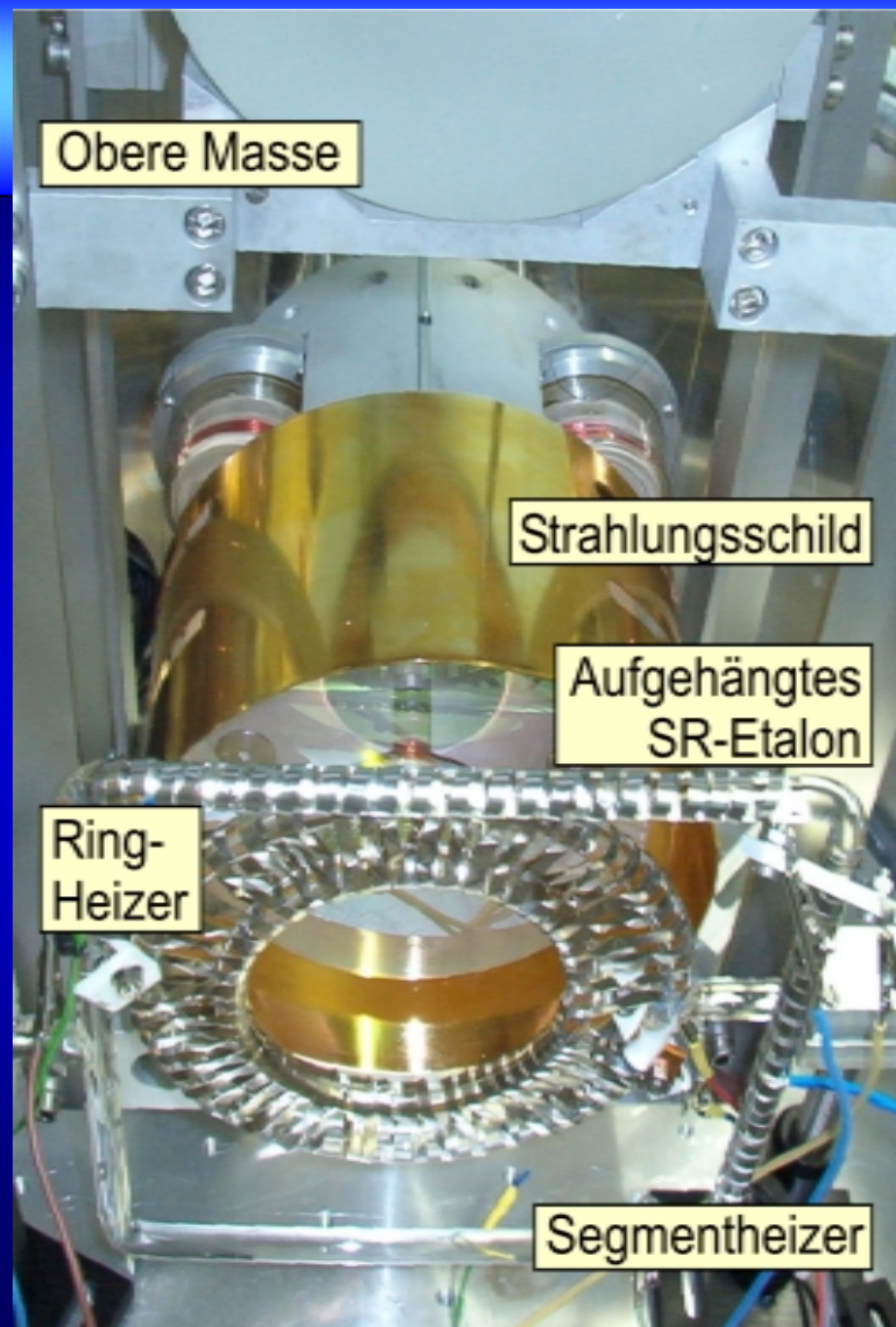
- sehr hilfreiches Werkzeug
- vielen Anwendungsbereichen
- einfache Realisierung

Testaufbau mit GEO-Parametern



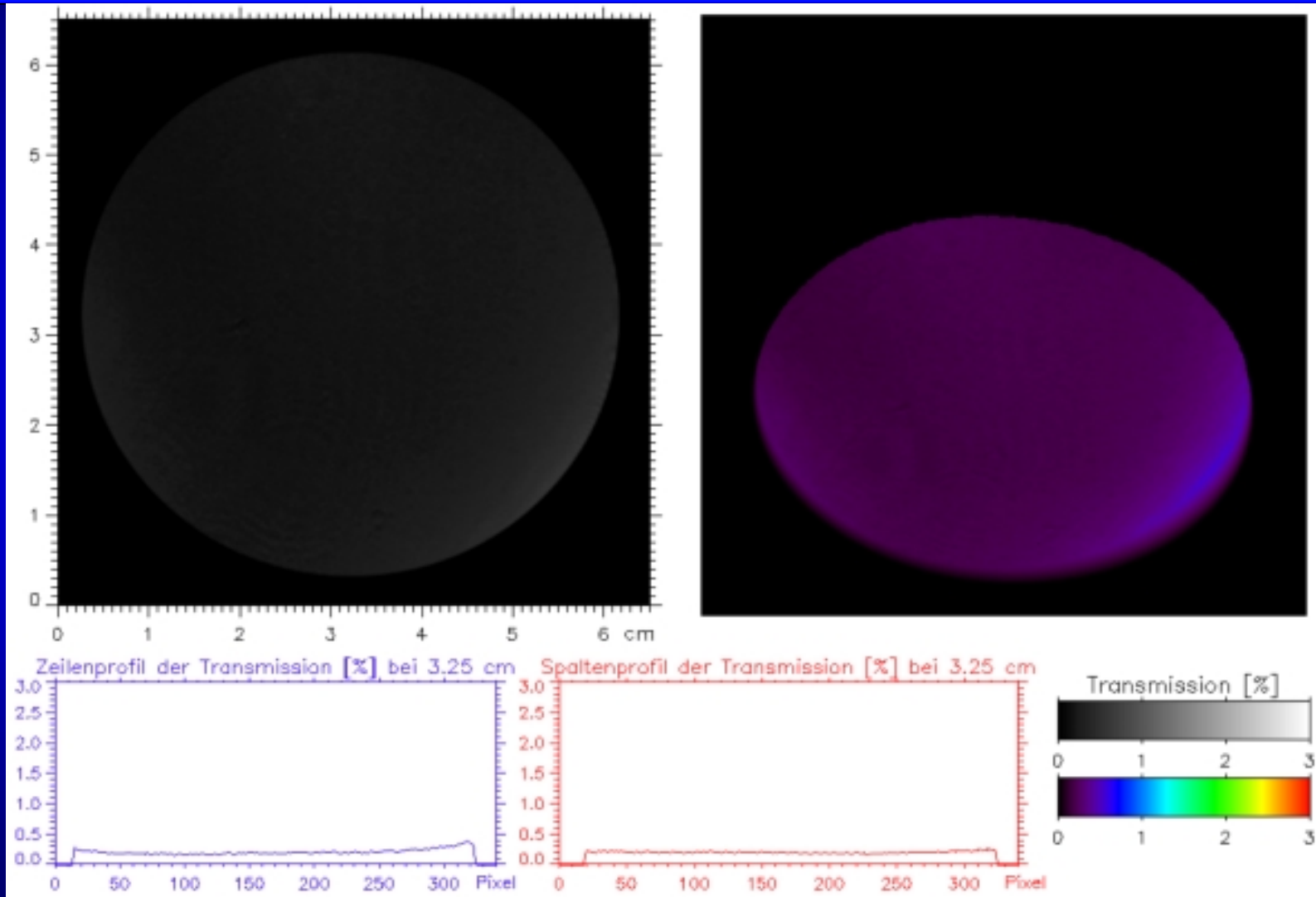
- als Pendel aufgehängtes SR-Etalon
- im Vakuum aufbaut
- identische thermische Umgebung

Strahlungsschild:
Kupferring, galvanisiert, 0.4 μm Gold

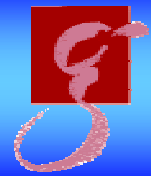




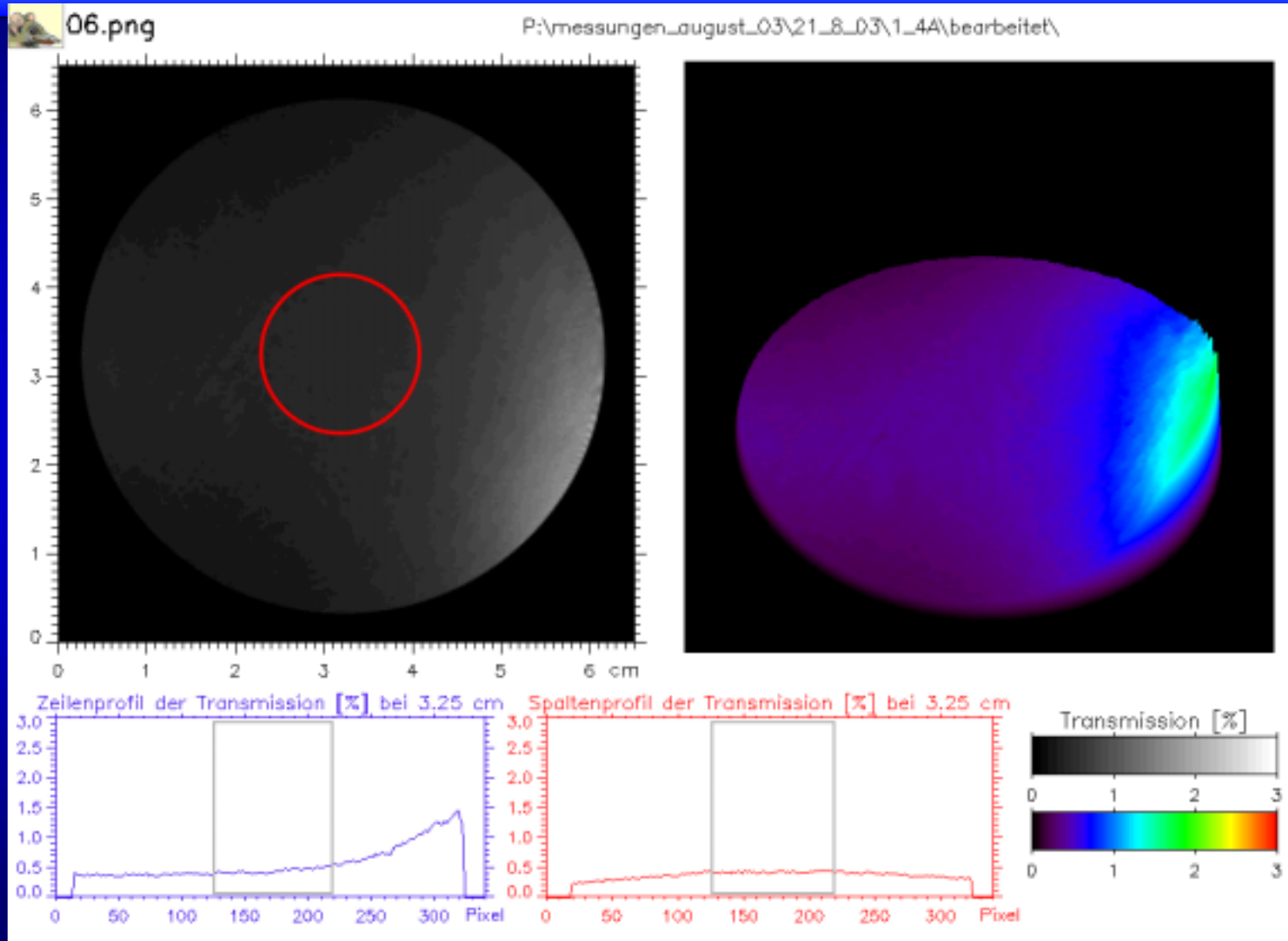
Laterale Etalontransmission ohne und mit Strahlungsschild



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