

Streulichtprobleme in interferometrischen Gravitationswellendetektoren



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

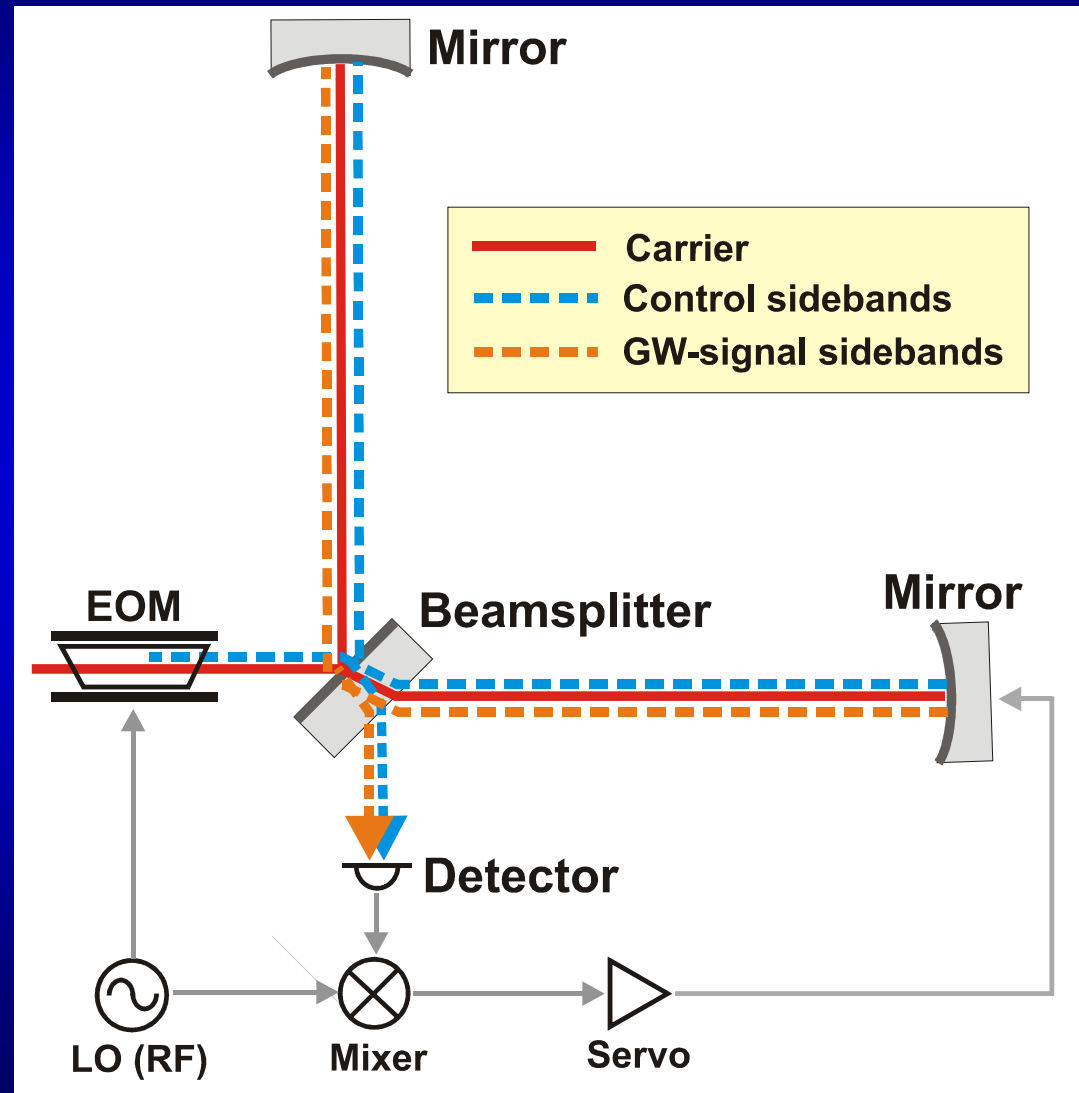
Universität Hannover 



- Warum sind interferometrische Gravitationswellendetektoren so empfindlich gegen Streulicht ?
- Wie kann man Streulichtpfade identifizieren und Streuquellen eliminieren?
- Streulichtprobleme bei GEO600

Interferometer als Gravitationswellendetektor

- Trägerlicht (ω_0) wird Schnupp-moduliert
⇒ Kontrollseitenbänder ($\omega_0 \pm \omega_{RF}$) am Ausgang
- Gravitationswelle (Audioband) erzeugt ebenfalls Seitenbänder
⇒ Signalseitenbänder ($\omega_0 \pm \omega_{GW}$) am Ausgang
- Streuung im Interferometer erzeugt Seitenbänder ($\omega_0 \pm \omega_{Streu}$), die direkt in Detektion koppeln und das eigentliche GW-Signal überdecken





Wenig Licht limitiert die Empfindlichkeit

Bei derzeitiger Empfindlichkeit können schon **10^{-17} Watt** (**≈ 100 Photonen/sec**) Streulicht die Empfindlichkeit von GEO600 limitieren.

Lichtleistungen in GEO:

- Laser = **12 W**
- Im Modecleaner = **5 000 W**
- Am Strahlteiler = **300 W**

Vermeidung von Streuung:

- Entsprechendes optisches Layout
- Qualitativ hochwertige Optiken
- Schieben der Streuung aus dem Detektionsband



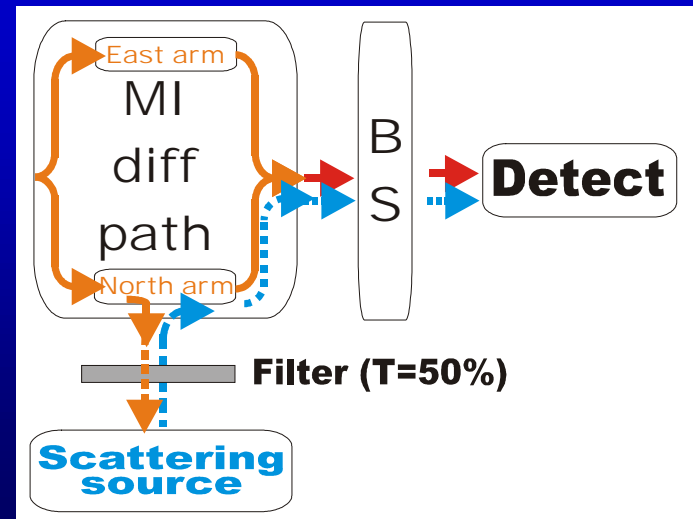
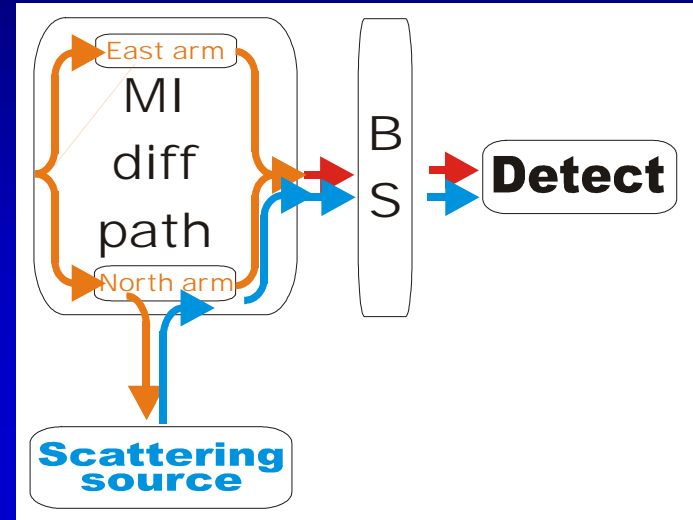
Identifizierung der Streuquelle

„Noise projections“ funktionieren nicht, da nicht lineare Kopplung vorliegt.

„Noise analysis of a kilometer-scale interferometric gravitation wave detector“
Joshua Smith Q 69.4 Mi 14:45 HU Kinosaal

Das Filterexperiment:

- Absorptionsfilter ($T=50\%$) in Pfad zwischen IFO und potentieller Streuquelle
- Lichtamplitude an Streuquelle und Streuamplitude sind um einen Faktor $\sqrt{2}$ reduziert
- Streulichtamplitude wird auf dem Weg zurück ins IFO erneut vom Filter um einen Faktor $\sqrt{2}$ abgeschwächt.
- Gesamtbilanz: Streulicht im IFO um einen Faktor 2 reduziert.





Wonach suchen wir ?

- Licht **verläßt den Hauptstrahl**
- und wird **phasenverschoben** in Bezug zum Hauptstrahl
- **Kommt zurück in Hauptstrahl** und wird am *dark port* detektiert.

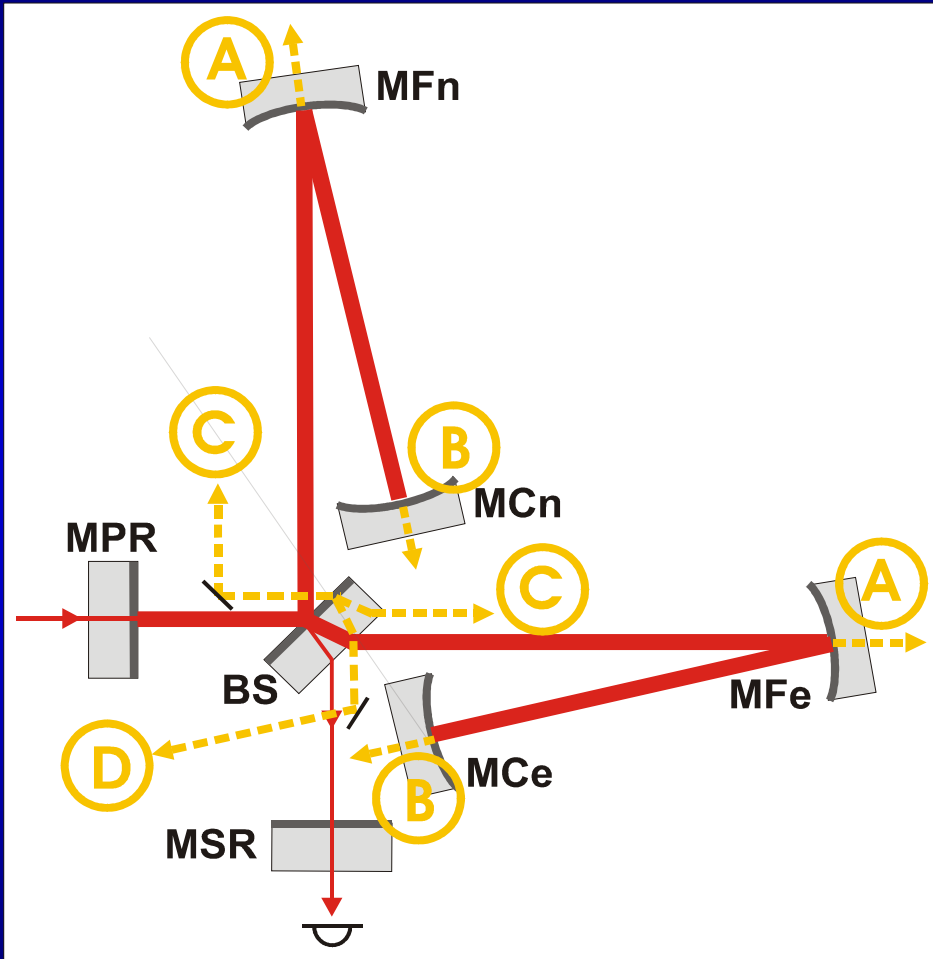
Einfaches Bild: (ohne Resonanzeffekte in SR-cavity):

Um Streulicht bei 1kHz zu bekommen braucht man eine Phasenverschiebung von $1000 \cdot 2\pi/s$.

Zwei Möglichkeiten:

- Streuquelle bewegt sich mit kleiner Frequenz, aber mit **großer Amplitude** (über viele fringes) **1mm/s**
- Streuquelle bewegt sich nur sehr kleiner Amplitude, dafür aber mit **großer Frequenz (1kHz)**

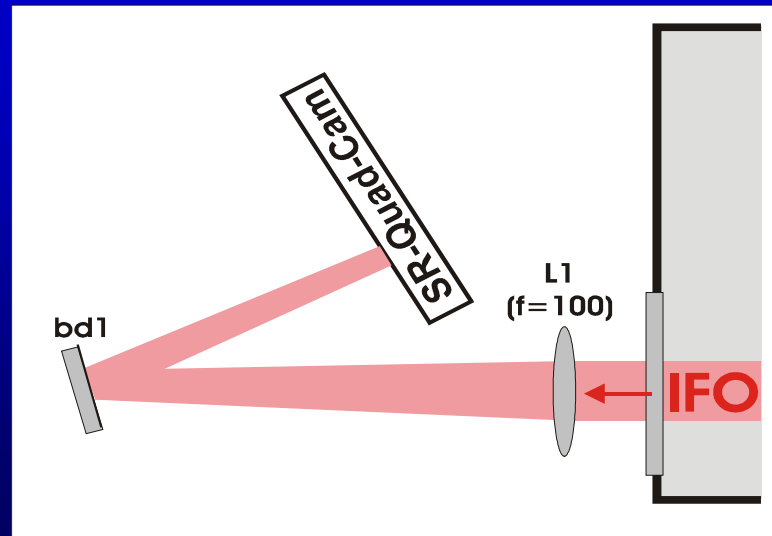
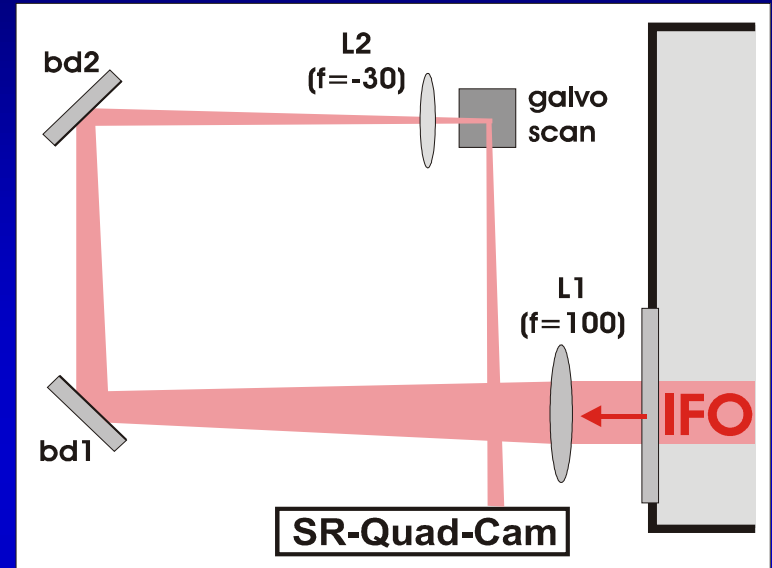
Differentielle Streupfade in GEO600



normal

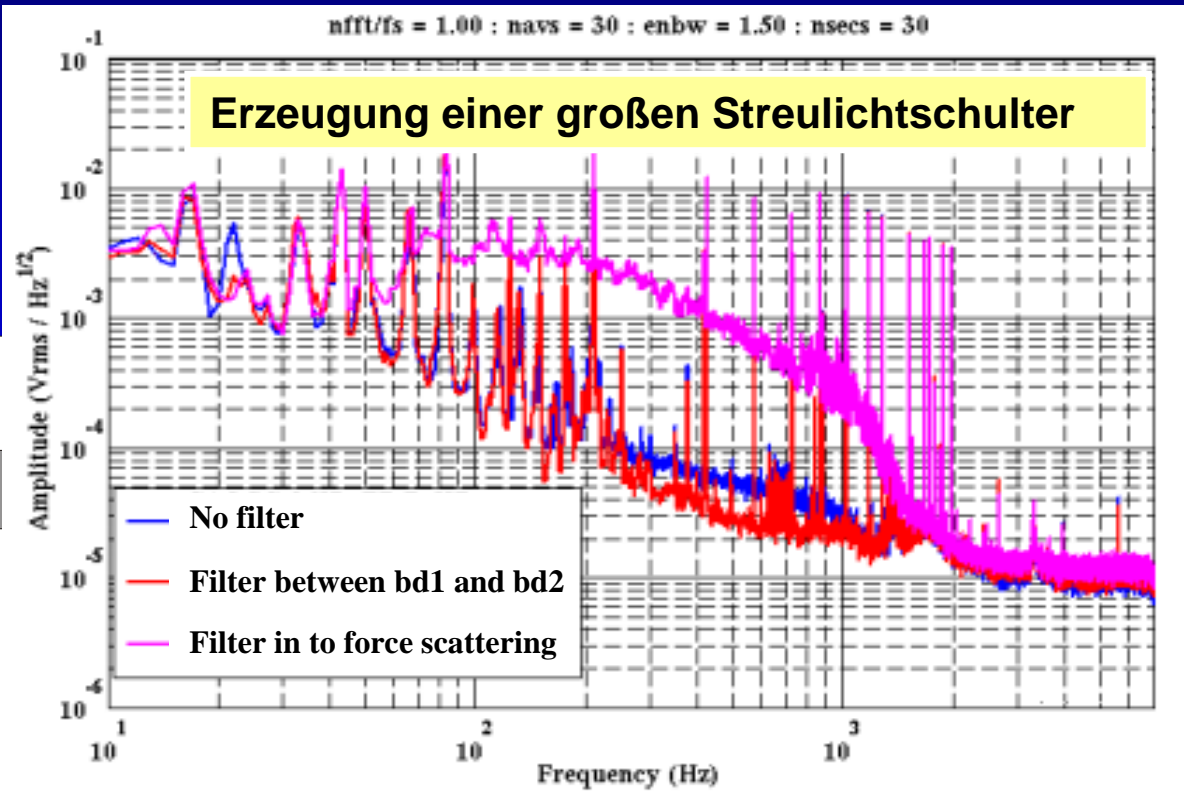
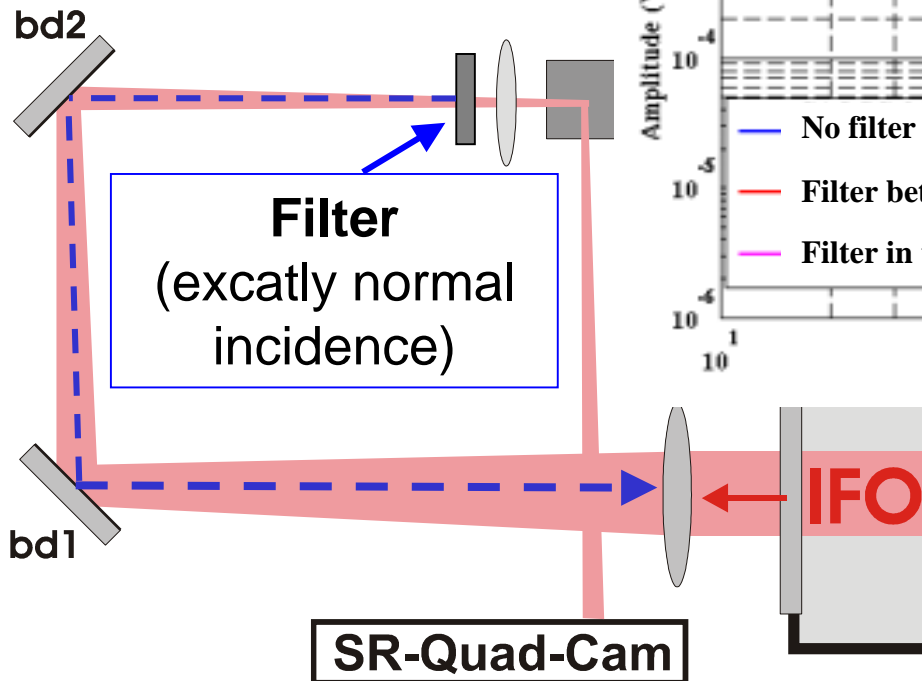


mit Streulicht



Forcierte Streuung

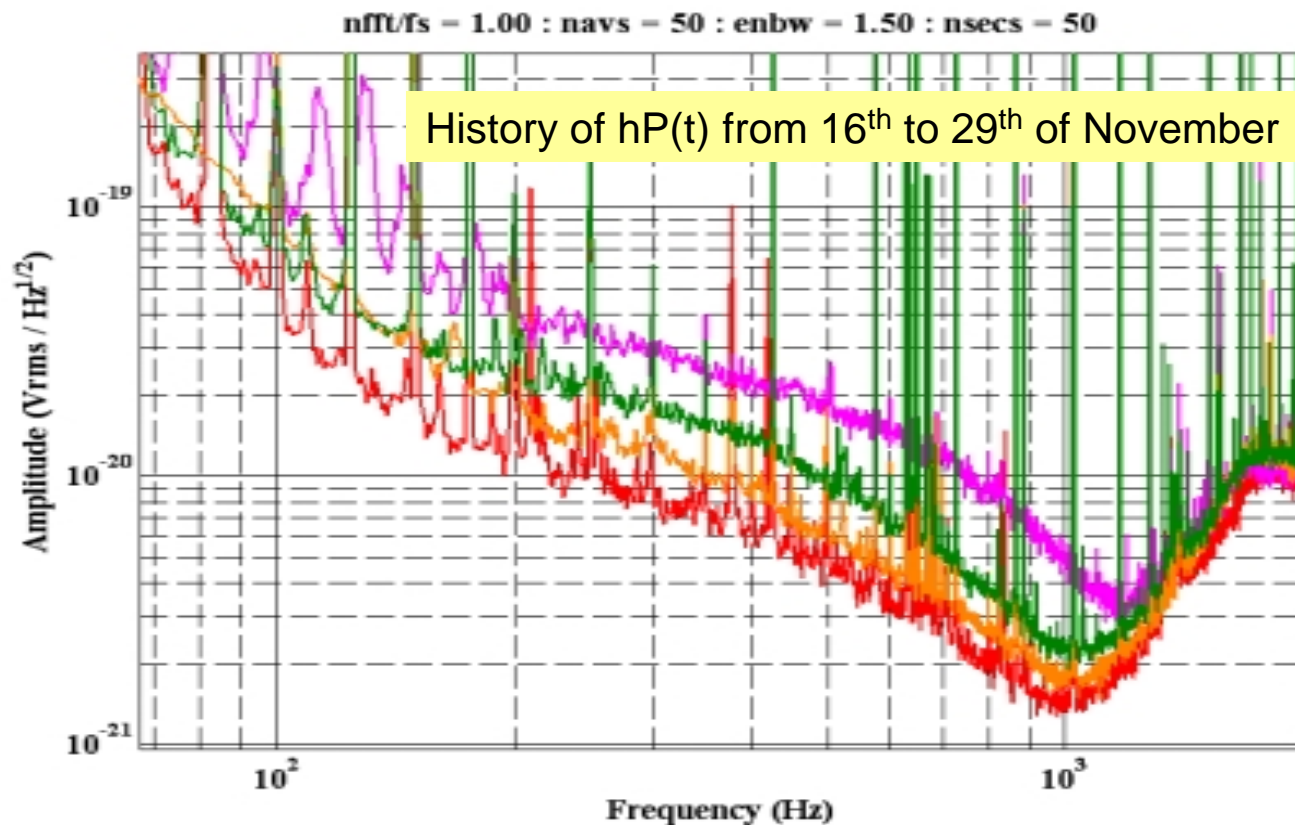
Platzierung eines Filters nahe der Strahltaile zur Erzeugung von Rückstreuung



Katzenaugen-Effekt:

Licht, das nahe der Strahltaile gestreut wird, geht automatisch in die IFO-Mode zurück

Empfindlichkeitsverbesserung



Durch Eliminierung der Streuung konnten wir die Empfindlichkeit um einen Faktor 3 bis 4 von 100 Hz bis 1 kHz verbessern.

Indikatoren für Streulichtpräsenz (1)

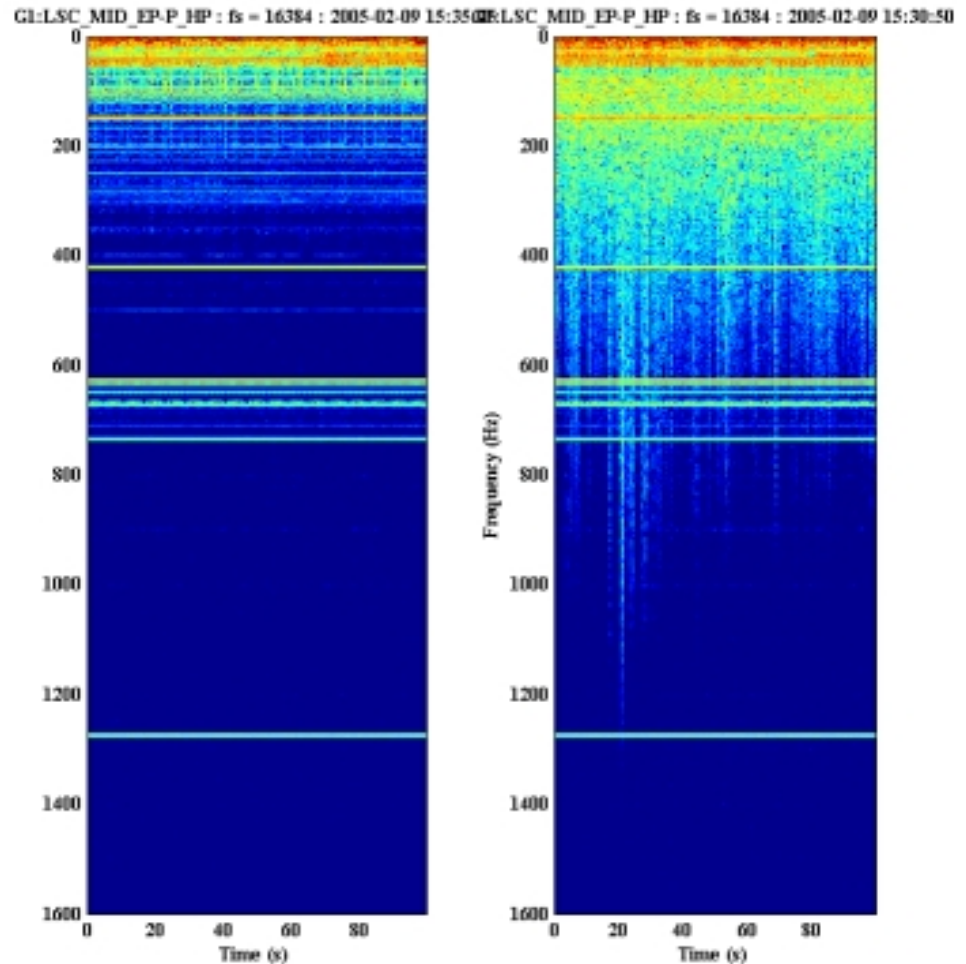
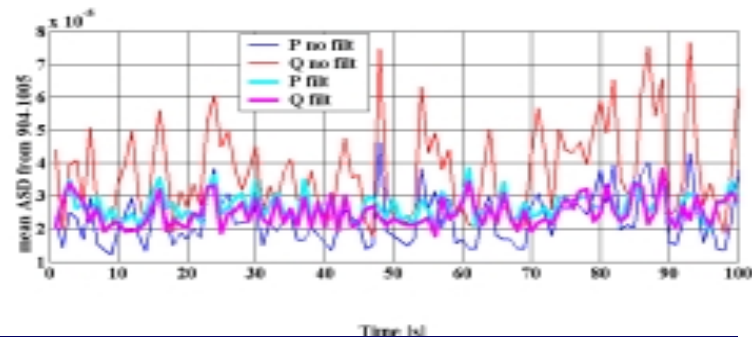
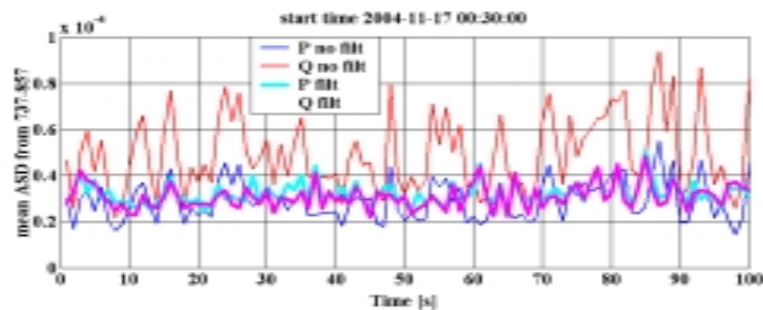
- Starke Variation des Rauschlevels (Sekunden-skala)
- Typischer Klang des Rauschens



normal

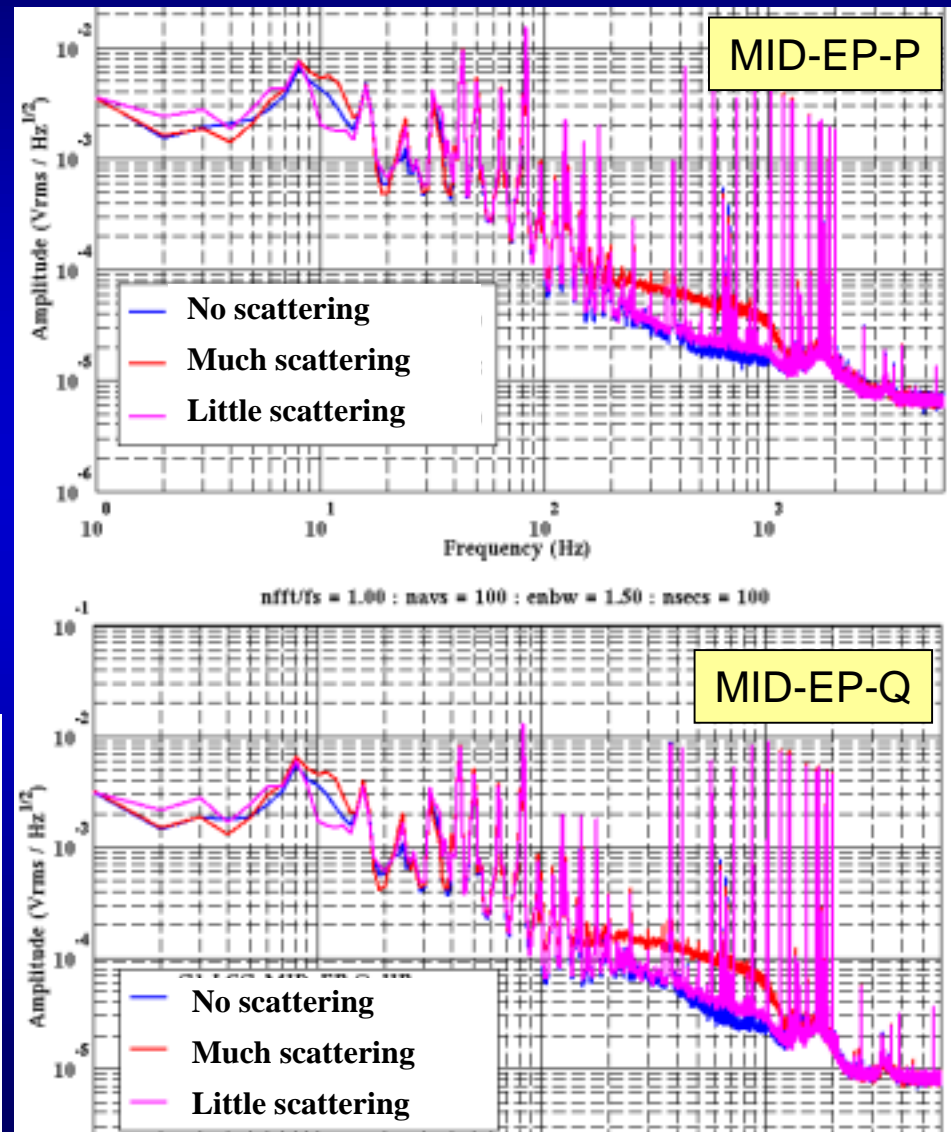
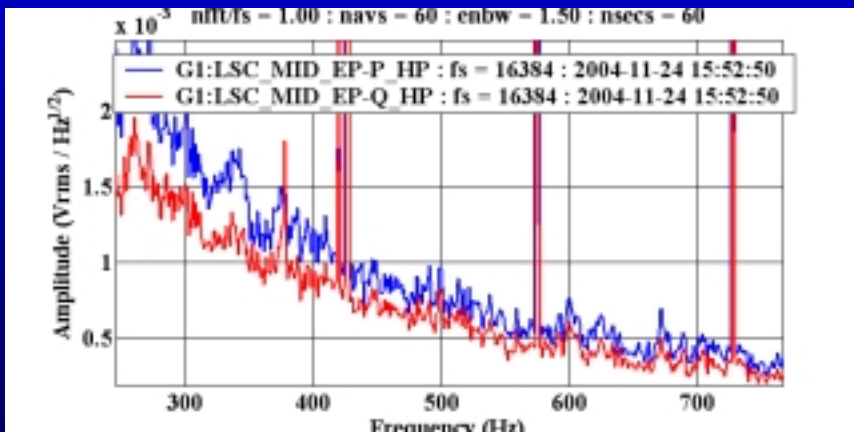


mit Streulicht

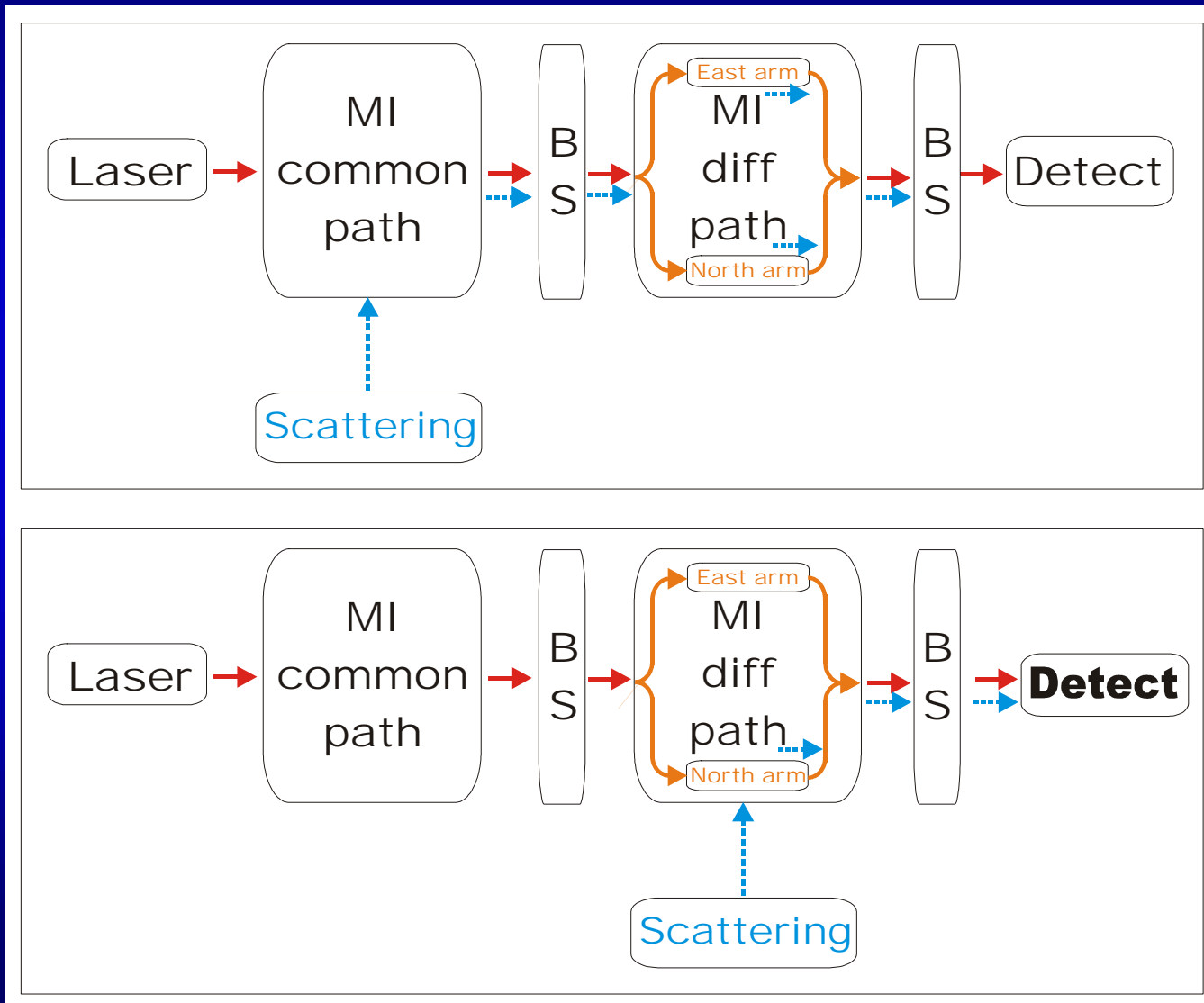


Indikatoren für Streulichtpräsenz (2)

- In MID-EPs the noise shape looks like a shoulder
- The noise shoulder is nearly smooth (apart from a few lines no structure or features in it)



Scattering in common and differential path



Scattering in common path would be less "effective" than in the differential path !



Klangbeispiele



Kein Streulicht



Streulicht



Zusammenfassung

- Try to avoid beam waist wherever it is possible
- Especially in differential beam paths

If you can't avoid having a waist:

- **Don't place any optics near the waist !**
- **Use high quality optics**

And be always aware of the cat's eye trap!