

# Laserinterferometrie

Seminar: Wechselwirkung intensiver Laser- und Ionenstrahlen mit  
Materie

Marco Möller

29.05.2008

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
  - Doppelspalt
- 2 Zweistrahlinterferometer
  - Michelson-Interferometer
  - GEO600 / LISA
  - Twyman-Green-Interferometer
  - Laser-Doppler-Vibrometer
  - Laser-Doppler-Anemometer
  - Sagnac-Interferometer
  - Ring Laser
  - Jamin-Interferometer
  - Mach-Zehnder-Interferometer
  - Wollaston-Interferometer
- 3 Mehrstrahl Interferenz
  - Gitter
  - Fabry-Pérot-Interferometer



- 1 Einleitung
  - Doppelspalt
- 2 Zweistrahlinterferometer
- 3 Mehrstrahl Interferenz

# Doppelspalt

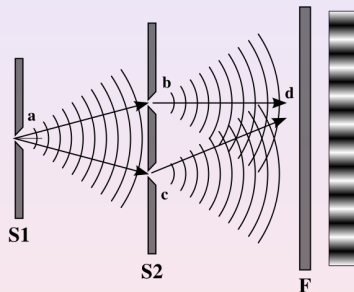
- Maxima:

$$\Delta s = \overline{db} - \overline{cd} = n\lambda$$

- Minima:

$$\Delta s = \overline{db} - \overline{cd} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

- Streifenmuster könnte genutzt werden für Anwendungen
- Verbesserung: gehen die streifen schärfer?
- Idee: Trennung der interferierenden Teilstrahlen  
→ Anwendungen



[en.wikipedia.org/wiki/Double-slit\\_experiment](http://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment)

## 1 Einleitung

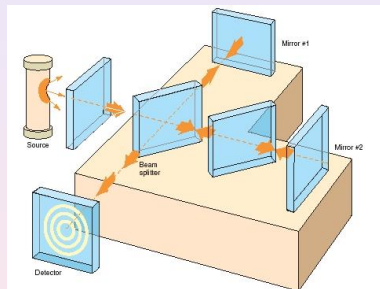
## 2 Zweistrahlinterferometer

- Michelson-Interferometer
- GEO600 / LISA
- Twyman-Green-Interferometer
- Laser-Doppler-Vibrometer
- Laser-Doppler-Anemometer
- Sagnac-Interferometer
- Ring Laser
- Jamin-Interferometer
- Mach-Zehnder-Interferometer
- Wollaston-Interferometer

## 3 Mehrstrahl Interferenz

# Michelson-Interferometer

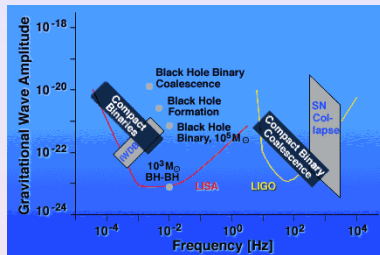
- 1 Grundidee: (Laser)lichtstrahl aufteilen
  - wie?
- 2 Teilstrahlen unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen aussetzen
  - was für welche?
- 3 Teilstrahlen vergleichen mittels Interferenz
- 4 ⇒ Aussagen über die Ausbreitungsbedingungen treffen
  - Teilarme werden zweimal durchlaufen!



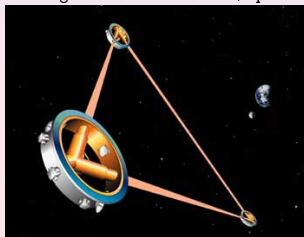
[www.scienceclarified.com/He-In/Interferometry.html](http://www.scienceclarified.com/He-In/Interferometry.html)

## GEO600 / LISA

- Gravitationswellen nachweisen
- Michelson-Interferometer
- Geo600 (seit 2006 bei Hannover)
  - 2x600m Schenkel
- LISA (ab ca. 2019 am L1-Punkt)
  - 3 Satelliten mit  $5 \cdot 10^9$  m Abstand
  - $10^{-11} m$  Sensitivität in Längenänderung
  - Position über freischwebende Masse (= Spiegel) im Inneren kalibriert



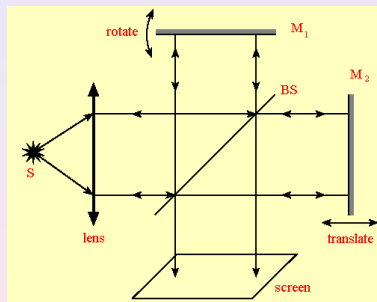
[geo600.aei.mpg.de/general-information/was-sind-gravitationswellen/spektrum/](http://geo600.aei.mpg.de/general-information/was-sind-gravitationswellen/spektrum/)



[lisa.jpl.nasa.gov/gallery/images/LISA\\_cover.jpg](http://lisa.jpl.nasa.gov/gallery/images/LISA_cover.jpg)

# Twyman-Green-Interferometer

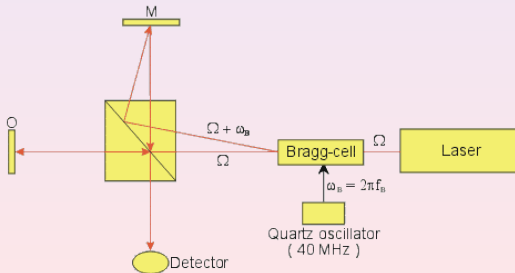
- Ähnlich Michelson Interferometer
- Punktlichtquelle wird mit sehr genauer Linse zu parallelem Strahl aufgeweitet
- $M_1$  ist drehbar: Dadurch kann exaktes Streifenmuster erzeugt werden
- Anwendung:  
Qualitätsprüfung von Linsen und Spiegeln



[electron9.phys.utk.edu/optics421/modules/m5/Interferometers.htm](http://electron9.phys.utk.edu/optics421/modules/m5/Interferometers.htm)

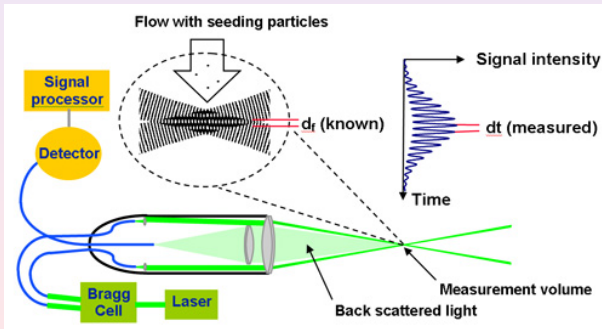
# Laser-Doppler-Vibrometer

- Berührungslose Messung von mechanischen Schwingungen
- Laserlicht wird frequenzmoduliert bei Reflexion an einer schwingenden Oberfläche  $f_{ob}$
- Ohne Tricks: Bewegungsrichtung der Schwingung mehrdeutig
- Verschiebe Frequenz in einem Arm um  $f_B \rightarrow$  Interferenzmuster wandert mit  $f_B$
- $f_{ob}$  moduliert nun  $f_B \lll f_{laser} \rightarrow$  messbar



# Laser-Doppler-Anemometer

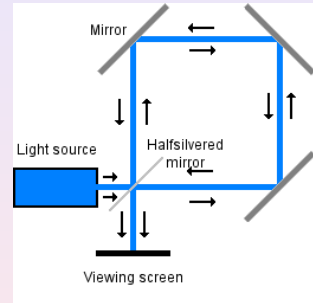
- Messen von Strömungsgeschwindigkeiten
- Projiziere “wanderndes Interferenzmuster” in Strömung (Laser-Doppler-Vibrometer)
- Streulicht an Tracer-Partikeln ist moduliert mit Strömungsgeschwindigkeit



[www.tut.fi/units/me/ener/laitteistot/EFD/LDA.html](http://www.tut.fi/units/me/ener/laitteistot/EFD/LDA.html)

# Sagnac-Interferometer

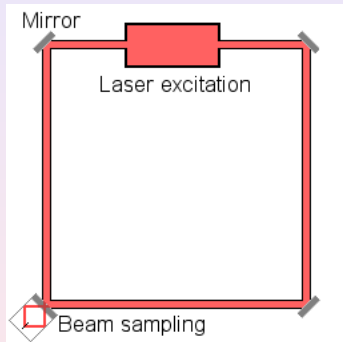
- 2 Entgegengesetzte zirkulierende Strahlen
- Relative Streifenverschiebung  $\Delta = \frac{4A\Omega}{\lambda c}$ 
  - $A$  eingeschlossene Fläche
  - $\Omega$  Rotationsgeschwindigkeit
- Michelson-Gale-Versuch (1926)
  - 1.9 km Vakuumrohr (17 mbar)
  - Lichtquelle: Kohle-Lichtbogen
  - Erdrotation auf genau gemessen:  
 $\Delta = 0,230 \pm 0,005$  (echt 0,237)
  - Würde für ruhenden Äther oder für Relativitätstheorie sprechen
- Anwendung: Messen von Rotationen → Laserkreisel
  - Kompakt: hunderte Meter Glasfaser aufrollen



[en.wikipedia.org/wiki/Sagnac\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Sagnac_effect)

# Ring Laser

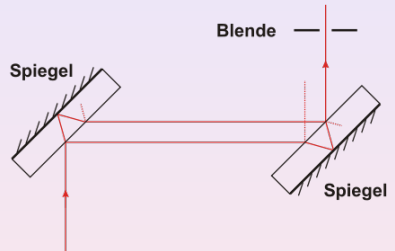
- Laserfrequenz
  - blau verschoben mit Rotationsrichtung
  - rot entgegen Rot.
- Überlagerung ergibt Schwebung: Frequenz proportional zur Rotationsgeschwindigkeit  $\Omega$
- Wesentlich größerer Effekt als beim Sagnac-Interferometer
- Problem: Lock-In / beide Frequenzen sind bei kleinem  $\Omega$  gleich
  - Lösung: Apparatur konstant vibrieren / rotieren



[en.wikipedia.org/wiki/Sagnac\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Sagnac_effect)

# Jamin-Interferometer

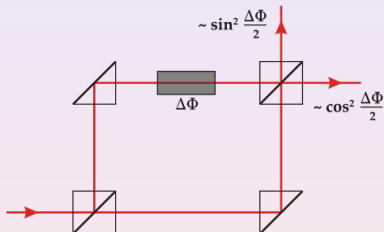
- Aufteilung von Licht mittels dicker Glasplatte vor Spiegel.
- Vorteil: Einfacher Aufbau
- Nachteil: Geringer räumlicher Abstand der Teilstrahlen



[de.wikipedia.org/wiki/  
Jamin-Interferometer](https://de.wikipedia.org/wiki/Jamin-Interferometer)

# Mach-Zehnder-Interferometer

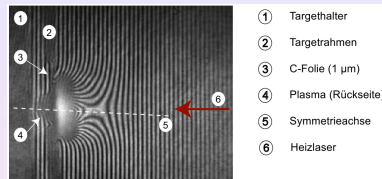
- Nachfolger von Jamin-Interferometer → Große räumliche Trennung der Teilstrahlen
- Anwendung
  - Phasenverschiebungsmessung / Brechungsindexmessung z.B. von Gasen / Plasmen
  - Gezielte Modulation der Lichtamplitude durch Phasenmodulation in einem Arm
- Frage: Warum kann man hiermit keine Michelson-Morley Experiment machen?
- Nachteil: Beide Lichtwege müssen  $\Delta L < \text{Koherenzlänge}$  haben



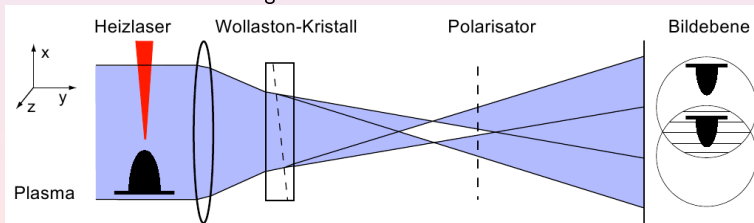
de.wikipedia.org/wiki/  
Mach-Zehnder-Interferometer

# Wollaston-Interferometer

- Referenz und Messstrahl identisch durch räumliche Aufteilung
- Messobjekt darf Strahl nicht füllen
- Vorteile
  - Kohärenzlänge unproblematisch
  - Hohe Zeitauflösung

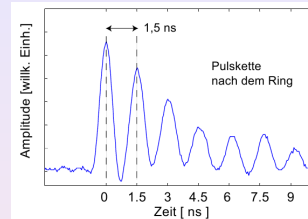


aus: Dissertation Gabriel Schaumann,  
Darmstadt 2007



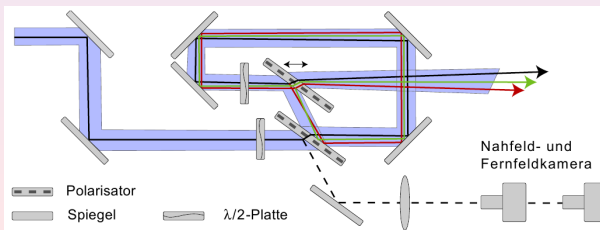
# Zeitauflösung

- 0,5 ns breiten Laserpuls Zirkulieren lassen - Umlaufdauer 1,5 ns
- Bei jeder Zirkulation Winkel leicht ändern
- Nach Durchlauf durch Objekt die Winkel an "Discokugel" räumlich trennen
- Jeweils ein Wollaston-Interferometer



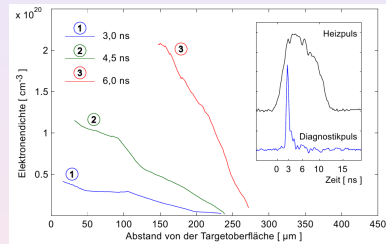
aus: Dissertation Gabriel

Schaumann, Darmstadt 2007



# Anwendung: Analyse von Plasmen Dichten

- ① Phasenverschiebung aus Interferogramm auslesen
- ② Annahme das Target rotationssymmetrisch:
  - Radiale Brechungsindexverteilung über Abelinversion bestimmbar
- ③ Brechungsindex ist mit Elektronendichte verknüpft



aus: Dissertation Gabriel Schaumann,  
Darmstadt 2007

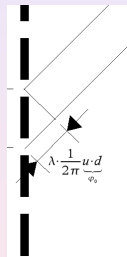
- 1 Einleitung
- 2 Zweistrahlinterferometer
- 3 Mehrstrahl Interferenz**
  - Gitter
  - Fabry-Pérot-Interferometer

- Intensität

$$I(u) = \frac{\sin^2(uNd/2)}{N^2 \sin^2(ud/2)}$$

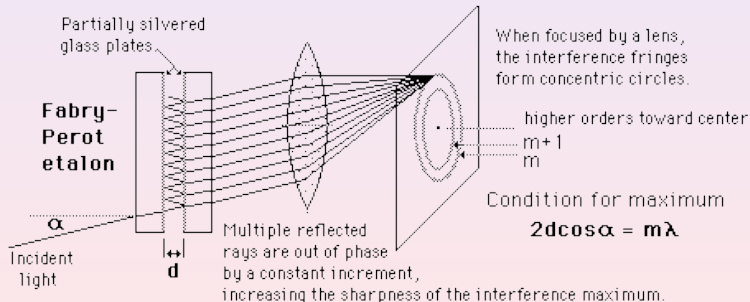
- Rayleigh-Kriterium: Wellenlängen unterscheidbar, wenn m.te Maxima mit einem benachbarten Minima zusammenfällt
- Auflösungsvermögen:

$$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{uNd}{2\pi} = mN$$



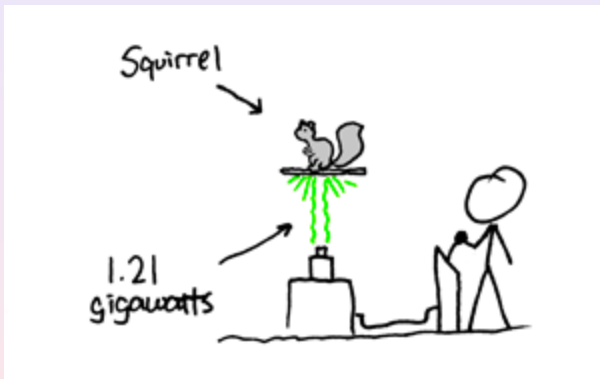
# Fabry-Pérot-Interferometer

- hohe Reflexivität  $\Rightarrow$  viele auslaufenden Teilstrahlen mit leicht abfallender Intensität ( $\approx$  Beugungsgitter)
- Mit nicht variablen  $d$  auch Etalon genannt
- Anwendung: Wie Beugungsgitter
- Problem: Spiegel sollten mehr als  $\leq \frac{1}{100} \lambda$  parallel und eben sein



[hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/phyopt/fabry.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/phyopt/fabry.html)

# Fragen?



[blog.xkcd.com/2008/02/15/the-laser-elevator/](http://blog.xkcd.com/2008/02/15/the-laser-elevator/)



# Referenzen

- Lipson. *Optik*. Springer, 1997
- Polytec - Vibrometry Basics:  
[http://www.polytec.com/usa/158\\_942.asp](http://www.polytec.com/usa/158_942.asp)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Interferometer> + Verweise 1.ter  
Ordnung + jeweilige englische Übersetzungen
- GEO600: <http://geo600.aei.mpg.de>
- LISA: <http://lisa.nasa.gov/index.html>
- Interferometertypen:  
<http://electron9.phys.utk.edu/optics421/modules/m5/Interferometers.htm>
- Laser Doppler Aneometer:  
<http://www.tut.fi/units/me/ener/laitteistot/EFD/LDA.html>
- G. Schaumann. Dissertation 2007.  
[http://www.gsi.de/forschung/pp/pub/thesis/phd\\_GSchaumann.pdf](http://www.gsi.de/forschung/pp/pub/thesis/phd_GSchaumann.pdf)
- Albert Abraham Michelson, Henry G. Gale: The Effect of the Earth's  
Rotation on the Velocity of Light, in: The Astrophysical Journal 61  
(1925), S. 140-145