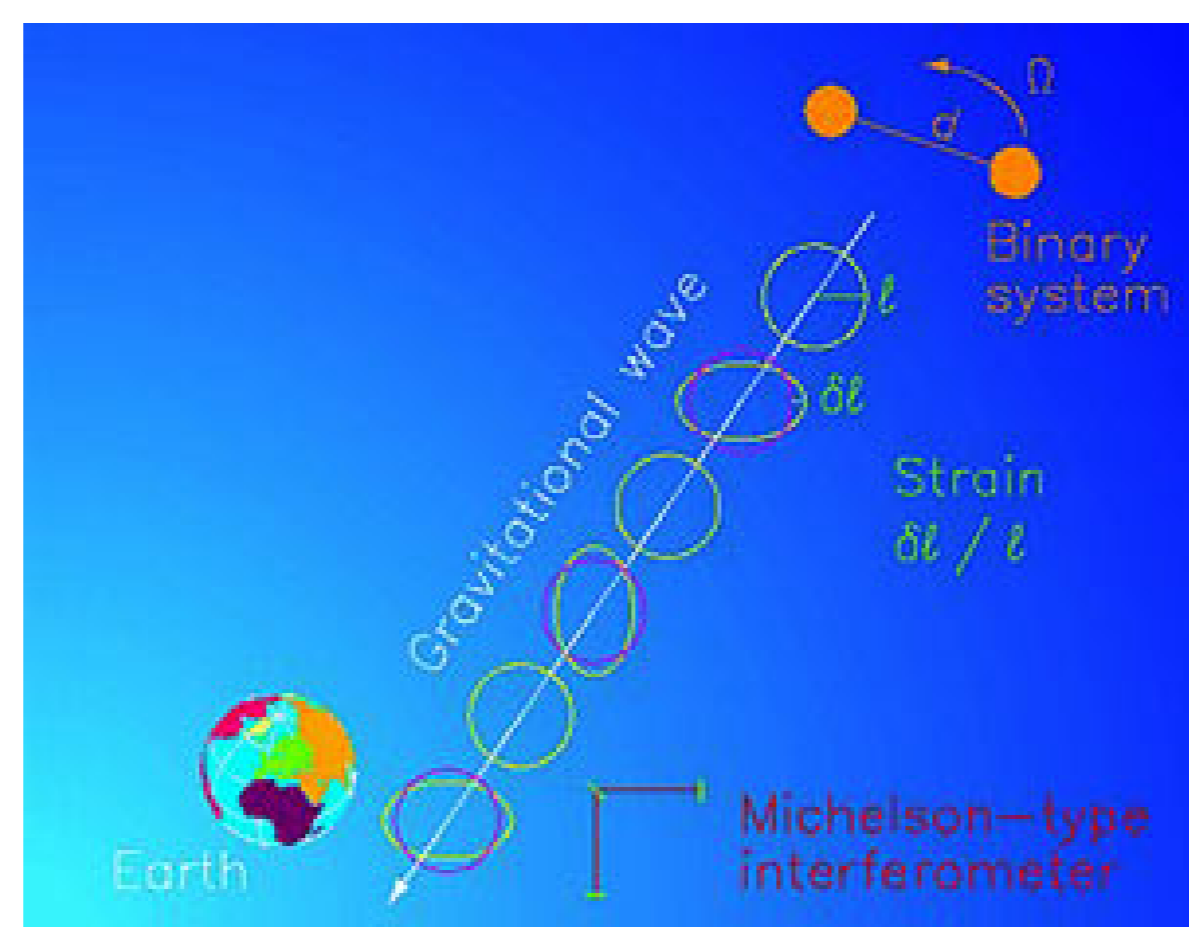




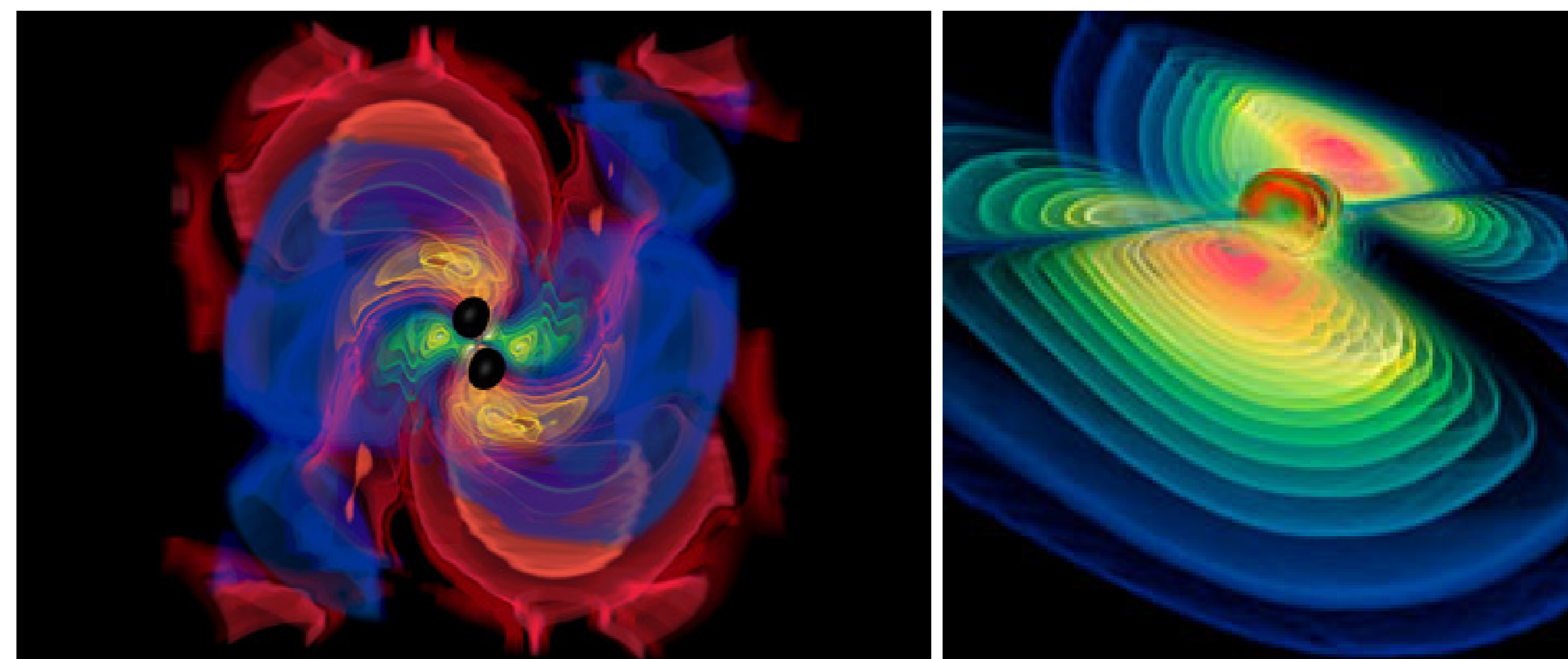
## Was sind Gravitationswellen ?

- Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie ist die Geometrie des Raumes (genauer: der Raumzeit) veränderlich.
- Zeitentwicklung der Geometrie wird beschrieben durch die Einsteinschen Feldgleichungen.
- Störungen breiten sich als Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- Eine Gravitationswelle verändert periodisch die Abstände zwischen Punkten im Raum.
- Ein Kreis frei schwebender Partikel ohne Relativgeschwindigkeiten wird abwechselnd gestreckt und gestaucht.
- Dabei wirken keine Kräfte auf die Partikel, sondern der Raum dazwischen verändert seine Eigenschaften.
- In nebenstehendem Bild verläuft die Gravitationswelle von rechts oben nach links unten und verformt die gedachten Kreise zu Ellipsen.
- Die Stärke von Gravitationswellen wird beschrieben durch eine relative Längenänderung  $h$ .
- Das bedeutet, ein Abstand der Länge  $L$  verändert sich um  $\Delta L = L \cdot h$ .



## Entstehung

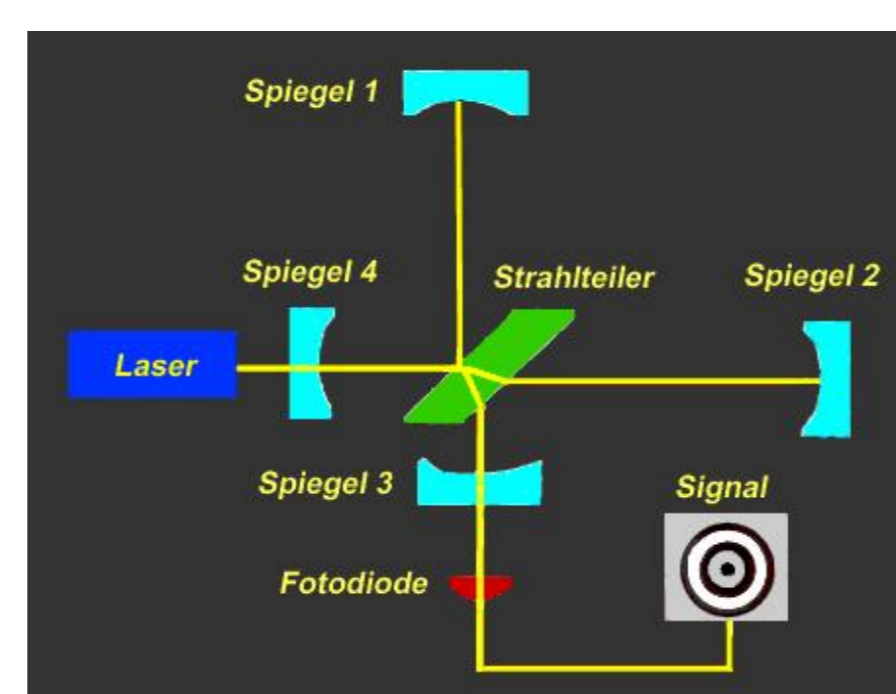
- Allgemein bei der Bewegung von Masse.
- Effekt normalerweise extrem klein und nicht nachweisbar.
- Starke Gravitationswellen entstehen durch:
  - Verschmelzung zweier schwarzer Löcher.
  - Verschmelzung von Neutronensternen.
  - Supernova-Explosionen.
  - Schwingungen von Neutronensternen.



Resultate einer Computersimulation einander umkreisender (links) bzw. kollidierender (rechts) schwarzer Löcher. Die Färbung entspricht gewissen geometrischen Eigenschaften des Raumes. Quelle: Albert Einstein Institut Potsdam.

## Nachweis

- Zur Messung werden Michelson-Interferometer verwendet, die von Albert Michelson und William Morley schon 1878 und 1887 entwickelt wurden. Funktionsweise:
  - Ein Laserstrahl wird in zwei senkrecht orientierte Teilstrahlen aufgespalten.
  - Die Teilstrahlen werden jeweils zwischen zwei Spiegeln möglichst oft hin- und herreflektiert.
  - Beide Strahlen werden wieder vereinigt.
  - Je nach der Differenz der zurückgelegten Wege überlagern sich die Teilstrahlen konstruktiv oder destruktiv.
  - Bei Abstandsänderungen ändert sich die Helligkeit des wiedervereinigten Strahls.
- Damit läßt sich die Änderung der Spiegelabstände sehr genau vermessen.
- Die Spiegel hängt man frei schwingend auf.
- Eine Gravitationswelle würde sich durch periodische Veränderung der Abstände bemerkbar machen.



Schematische Darstellung eines Laserinterferometers.

## Der Detektor GEO 600



Links oben: Luftaufnahme. Links unten: Vakuumpipeline. Rechts: Außenansicht. Weitere Informationen unter: <http://www.geo600.de/>

- Dieser Gravitationswellen-Detektor bei Hannover ist ein deutsch-britisches Gemeinschaftsprojekt.
- Jede der beiden rechtwinklig angeordneten Lichtlaufstrecken hat eine Länge von 600 m.
- GEO 600 ist so empfindlich, daß sich sogar Ebbe und Flut der Nordsee in über 200 km Entfernung bemerkbar machen.

## LISA – Laser Interferometer Space Antenna

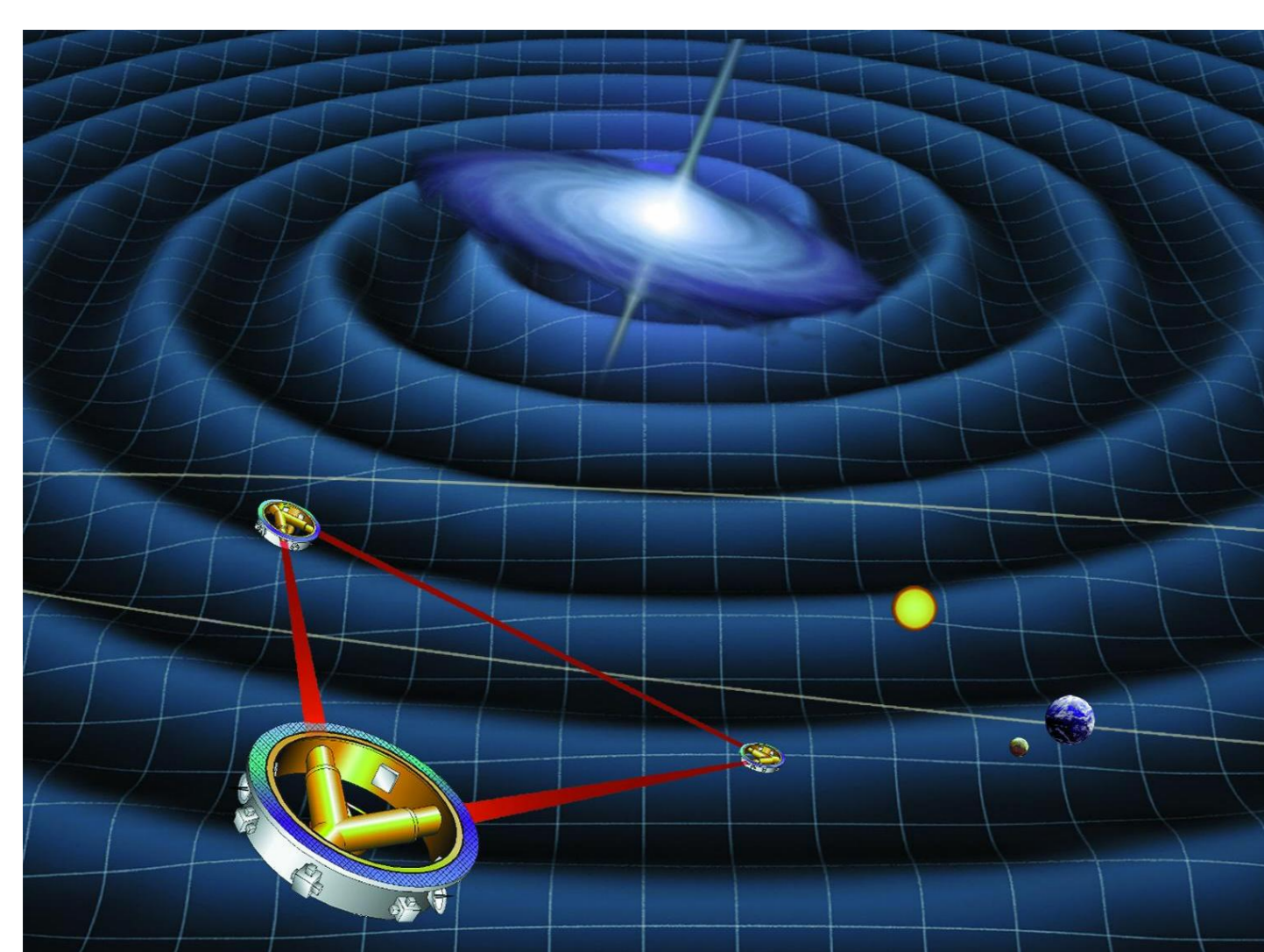
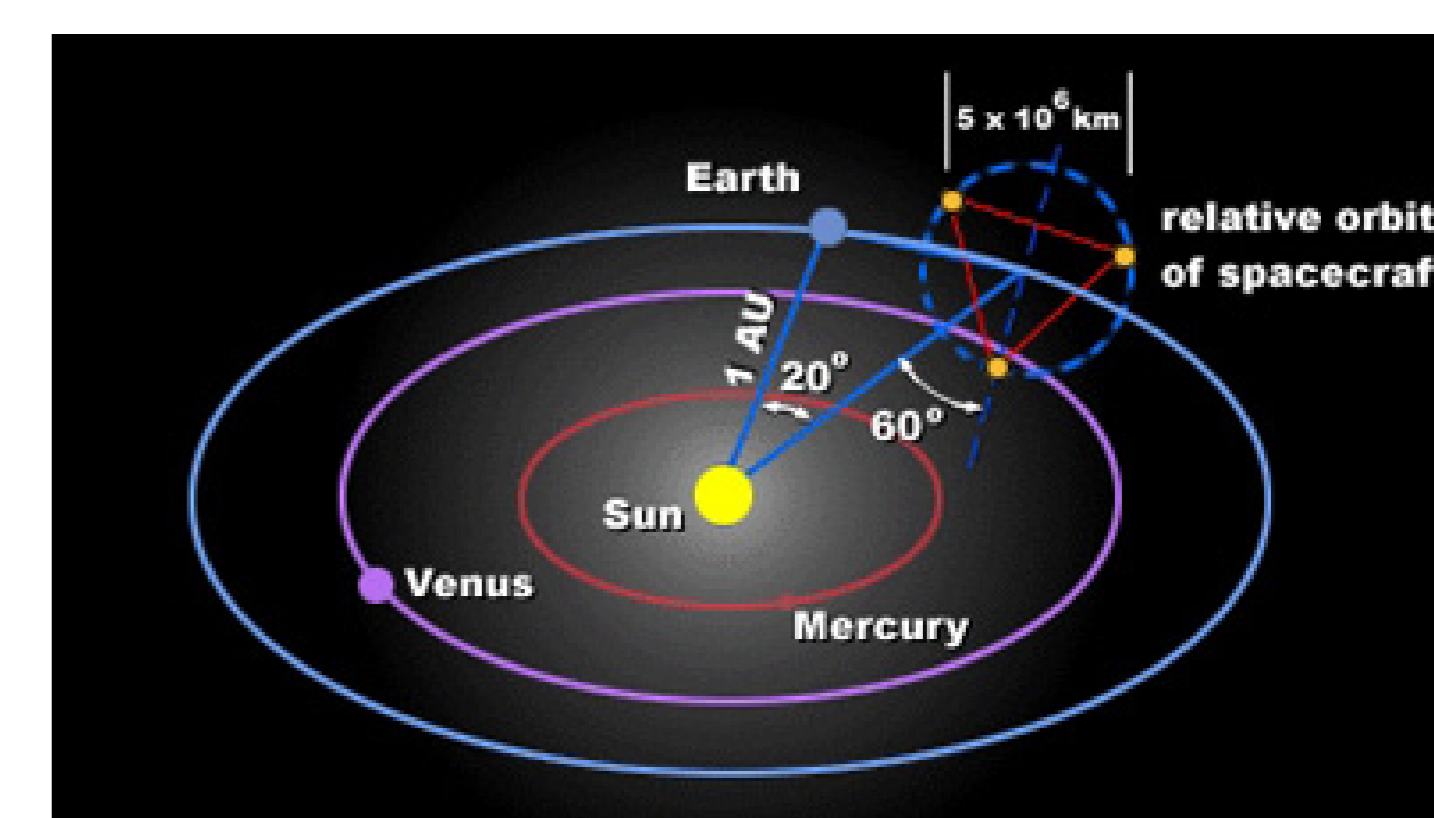


Illustration des LISA Detektors. Eine weit entfernte Quelle strahlt Gravitationswellen ab (Spiralmuster), welche die Abstände zwischen den drei LISA Satelliten periodisch ändern, was mit Hilfe von Laserstrahlen nachgewiesen wird.

- LISA ist ein geplanter Gravitationswellen-Detektor im All.
- Er besteht aus drei Satelliten, die ein Dreieck mit 5 Mio. km Seitenlänge bilden.
- Sie umkreisen die Sonne auf der Erdumlaufbahn.
- Zwischen den Satelliten werden Laserstrahlen ausgetauscht.
- Durch Messung der Phasenunterschiede der Laserstrahlen werden Abstandsänderungen der Satelliten extrem genau gemessen.
- Es können relative Längenänderungen von  $h = 10^{-23}$  gemessen werden.
- Durch die große Weglänge und das Fehlen von Erschütterungen ist die Genauigkeit höher als bei erdgebundenen Detektoren.
- LISA lauscht auf einen niedrigeren Frequenzbereich.
- Zusammen mit erdgebundenen Detektoren können prinzipiell die meisten bekannten Quellen von Gravitationswellen nachgewiesen werden.



Die LISA Satelliten folgen der Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne. Dabei bilden sie jederzeit ein gleichschenkliges Dreieck. Weitere Informationen unter <http://lisa.nasa.gov/>