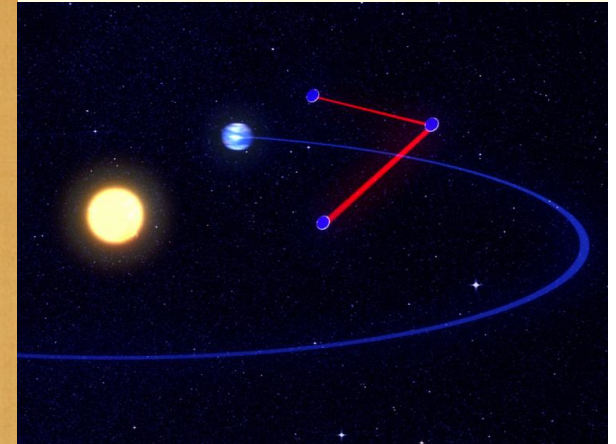
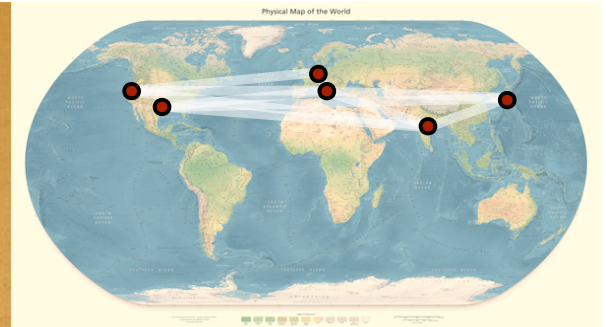


*Heraeus Seminar  
100 Jahre ART*

# **Gravitationswellen: *die neue Astronomie***



**Bernard Schutz**

*Albert-Einstein-Institut, Potsdam  
& Data Innovation Institute, Cardiff University, Wales*



# Gravitationswellen

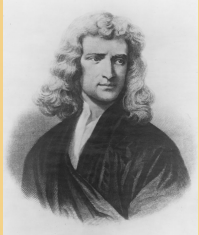
**“Gravitational wave detection is about seeing the biggest things that ever happen – the collisions, explosions, and quakings of stars and black holes – by measuring the smallest changes that have ever been measured...”**

Harry Collins  
Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves  
(University of Chicago Press 2004)



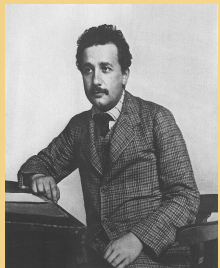


# Die Schwerkraft spricht...



Für Newton war die Schwerkraft ein *Sklave* zur Masse: das Gravitationsfeld bewegt sich *steif* mit seinem Stern, unabhängig von der Entfernung.

Einstein hat die Schwerkraft *befreit*!



Die Relativitätstheorie begrenzt Geschwindigkeit: Änderungen im Gravitationsfeld bewegen sich durch dem Weltall mit Lichtgeschwindigkeit.



Die Ausbreitungen dieser Änderungen heißen *Gravitationswellen*. Die sind kleine Störungen des gesamten Gravitationsfeldes. Die Schwerkraft wird stärker und schwächer als die Kräuselungen fliegen vorbei.



# ... aber warum zuhören?

Gravitationswellen zeigen uns ihre Quellen. Diese Quellen sind hoch interessant: umkreisende und zusammenstoßende schwarze Löcher und Neutronensterne, Pulsare, und der Urknall.

Gravitationswellen sind Gravitation: sie fließen durch alles. Die sind deshalb unsere beste, unsere wahrste Informationsträger.

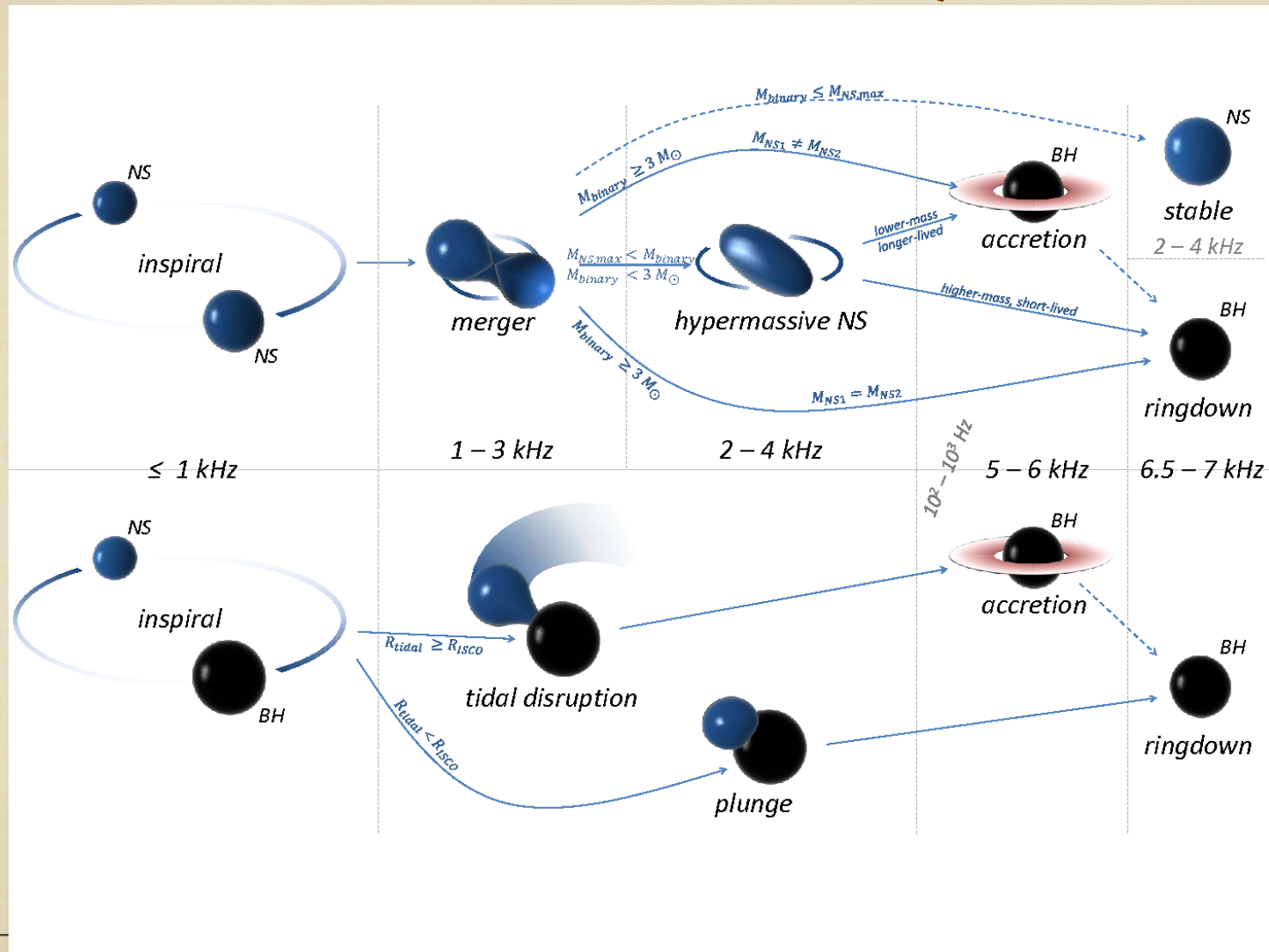
UND – sie messen *Entfernungen*: die Wellen von zwei schwarzen Löcher, die einander umkreisen und annähern, sagen uns genau wie weit entfernt von uns das System liegt. Solche Entfernungsmessgeräte sind kostbar. Ohne genaue Distanzen können wir die Ausdehnung des Universums und seine Beschleunigung nicht messen: d.h. die *dunkle Energie*.





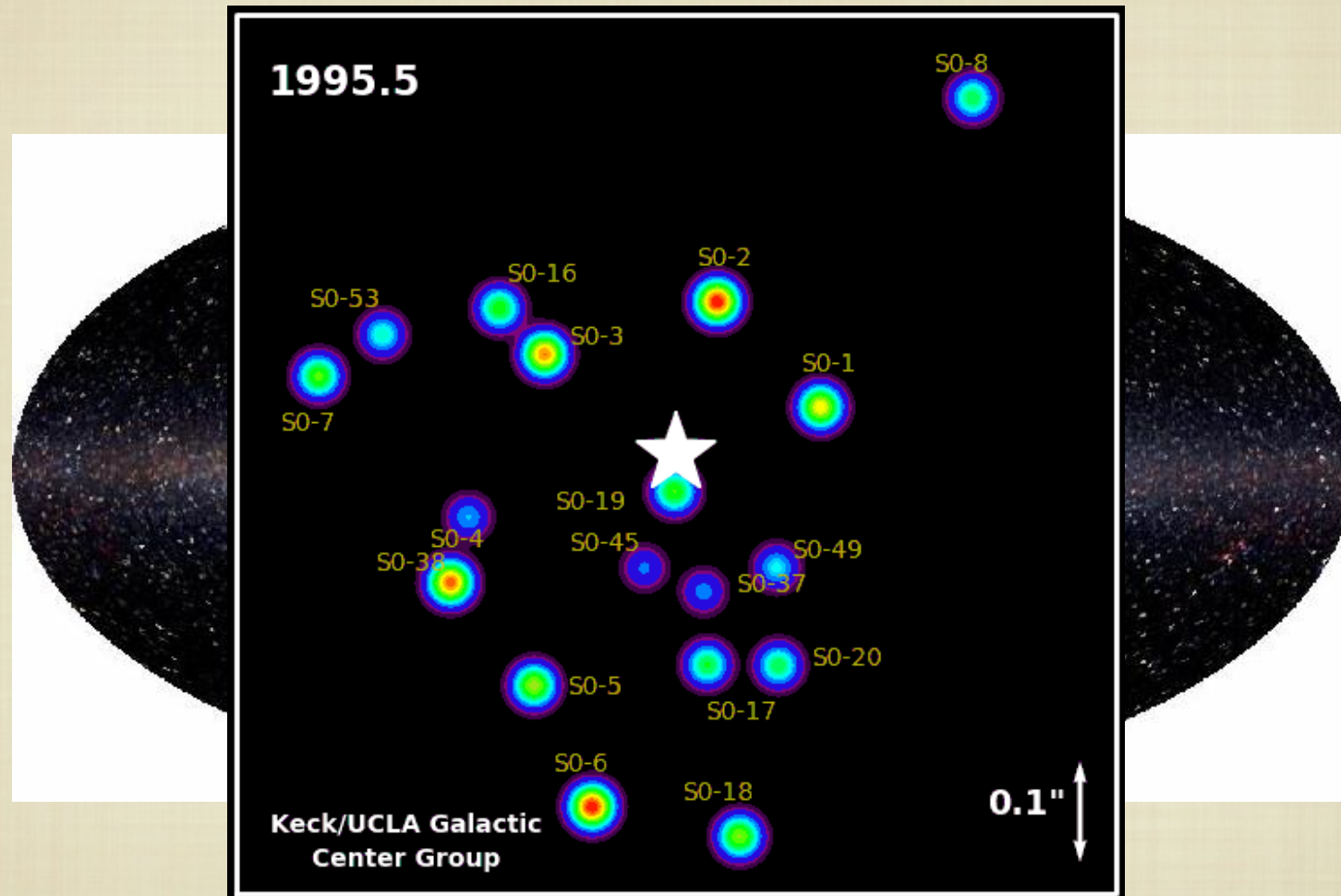


# Wie entstehen die Quellen?





# Kern der Milchstrasse



# Die größte Kollisionen...



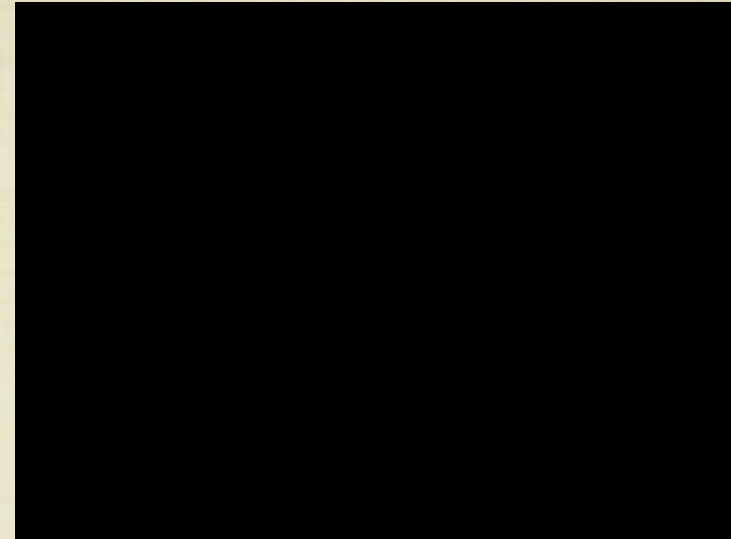
NGC4038:  
Antenna  
Galaxies  
(SSRO)





# ... leiten zu die hellste Kollisionen!

Astronomen kennen Schwarze Löcher mit Massen von  $10$  bis  $10^9$  Sonnenmassen. Auf allen Skalen bilden diese Objekte Binärsysteme, die zusammenspiralen und ineinander verschmelzen .



Während die Zusammenschmelzung ist die Energie, die in GW abgestrahlt wird, größer als die Lichtstärke in Photonen des gesamten Universums!

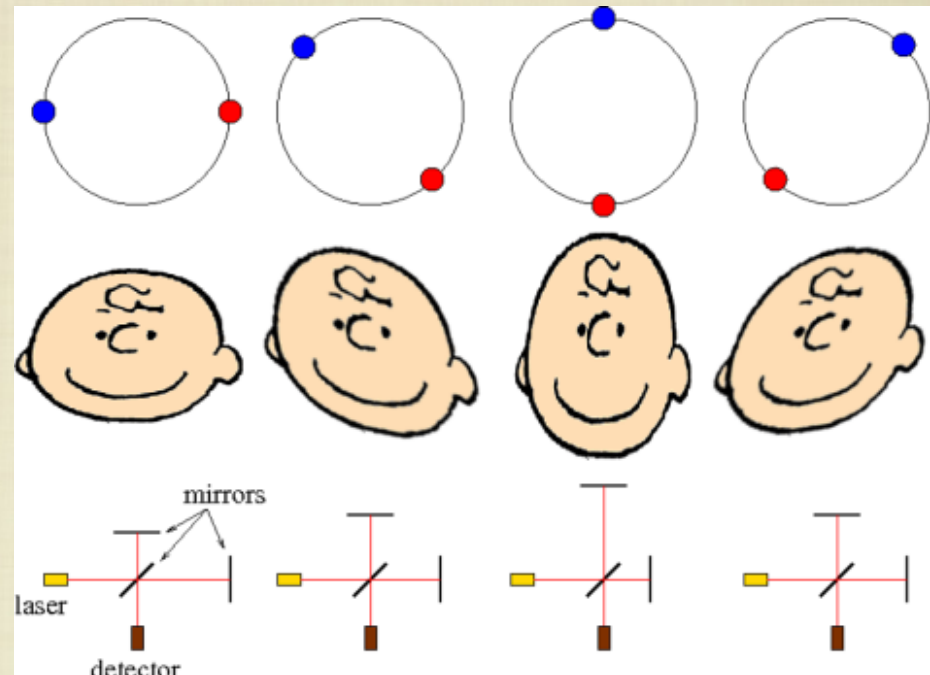
Jeder solche Zusammenstoss ist eine „Standard-Sirene“, die uns hilft, die Größe des Universums zu messen.



# Detection: Interferometers

Die Schwerkraft erzeugt die Gezeiten. Genau wie der Mond die Erde ausdehnt, so dehnen GWs alle Systeme von Massen.

Ein Interferometer ist ideal, diese Ausdehnungen zu messen!

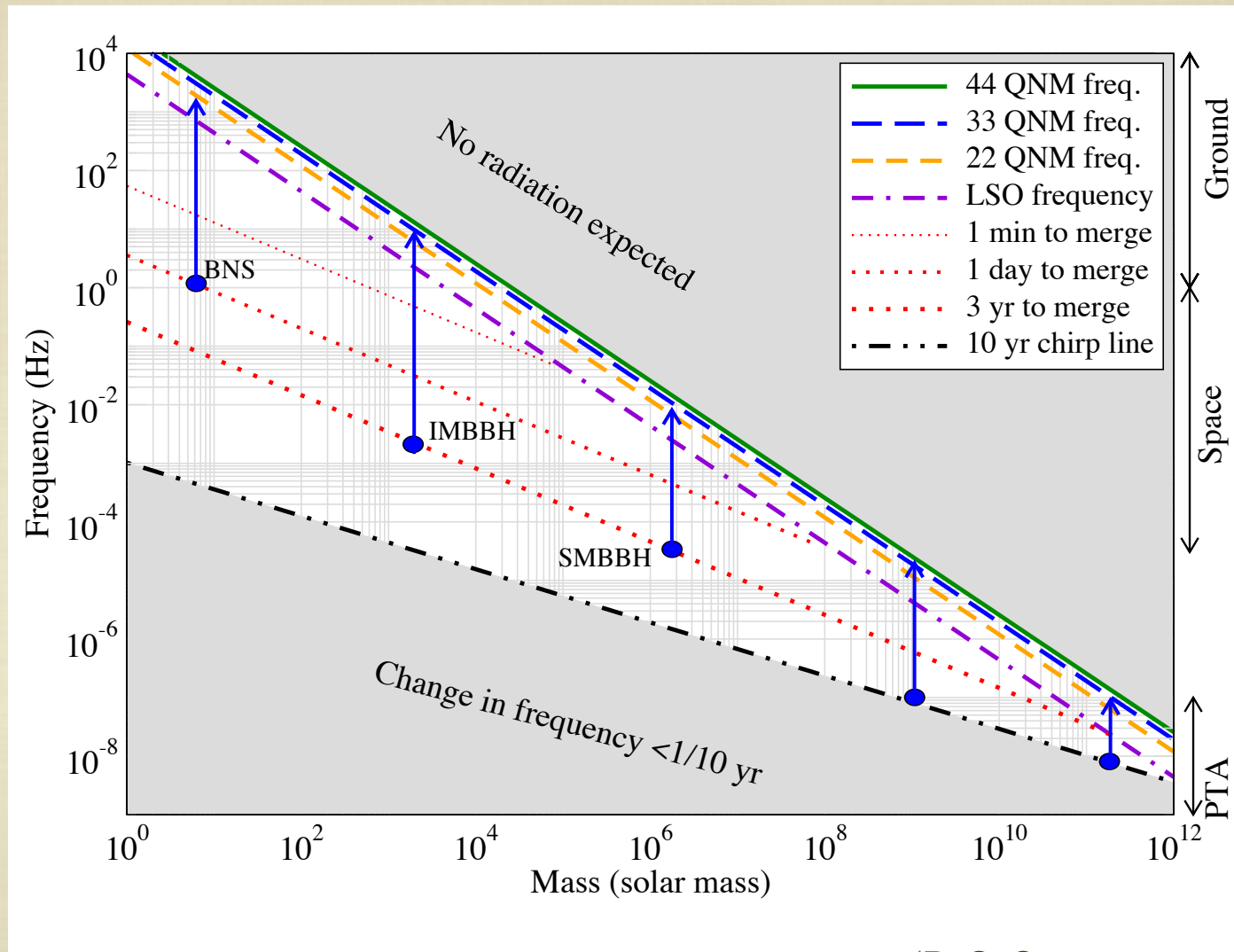


(Galileo's Pendulum)





# GW Spektrum



(B. S. SATHYAPRAKASH)



# Erdgebundenes Netzwerk



Alle Projekte arbeiten zusammen und teilen ihren Daten. Grund ist die Wissenschaft!





# Erste Phase LIGO/Virgo/GEO

Beobachtungen von LIGO, Virgo, GEO600 2005-2010 haben keine Wellen identifiziert (keine Überraschung!), aber viel Erfahrung gewonnen:

- Beweis, dass wir diese große Detektoren kontrollieren können.
- Validation von der Datenanalyse.
- Entwicklung in GEO600 (Hannover) von *advanced technologies*, die jetzt in LIGO und Virgo installiert werden.
- Wichtige neue übere Grenzen für viele mögliche Quellen: GW Pulsaren (Crab, Vela), Urknallwellen, Zusammenschmelzung von Neutronensternen.



# Advanced Detectors

- Dieses Jahr wird LIGO die neue Beobachtungen beginnen; schrittweise Sensibilitätsverbesserung bis 2019. Virgo ist vielleicht ein Jahr hinter LIGO.
- Multimessenger astronomy: L-V haben Vereinbarungen mit mehr als 60 Observatorien und Projekten, Daten zu teilen um GW Quellen in allen „Fenster“ der Astronomie to beobachten.
- Erste GW Signal: wahrscheinlich 2016-17. Ende 2019 kann es 40-100 Signalen pro Jahr sein.

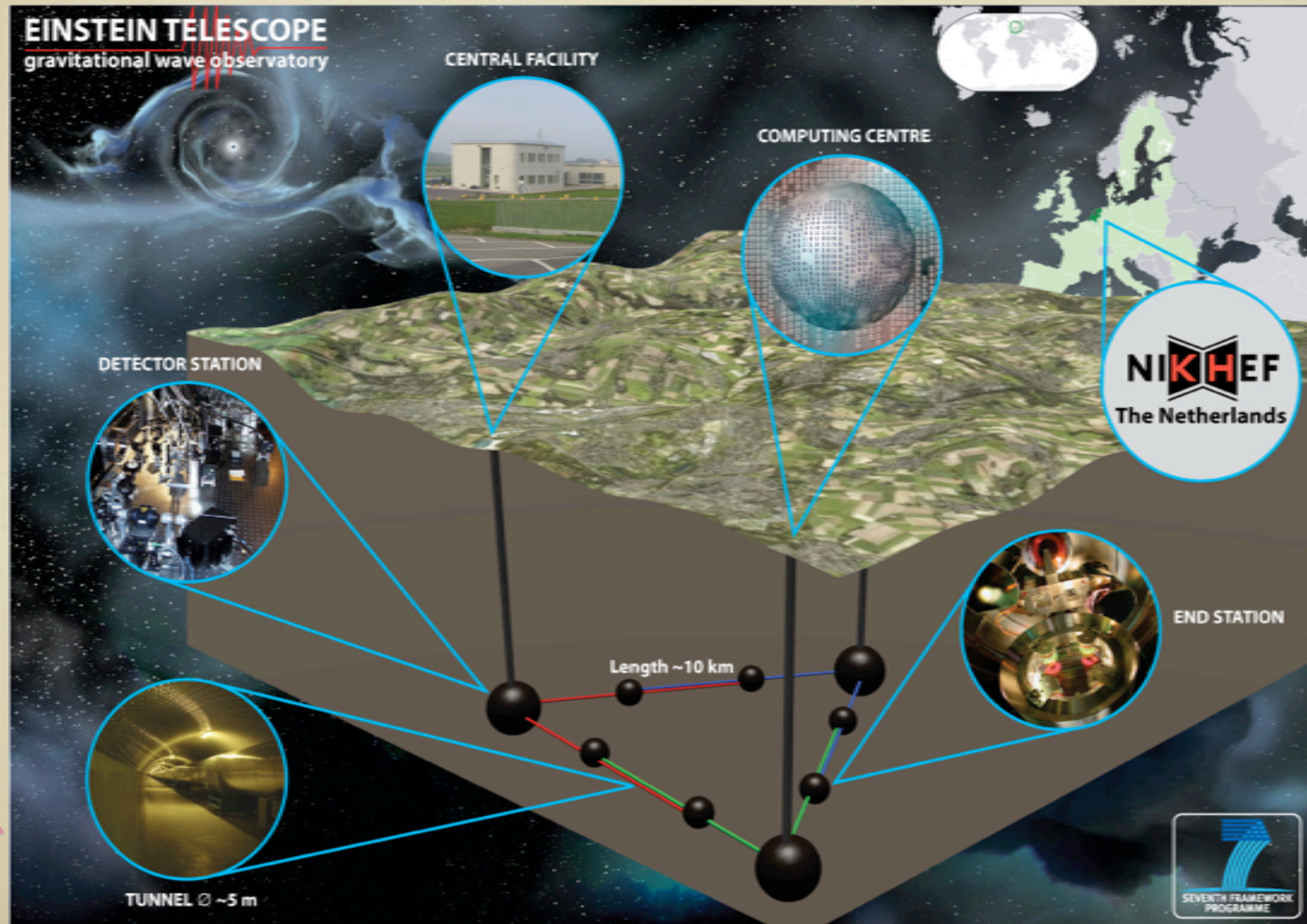


# Netzwerk 2020+





# Dritte Generation 2025+

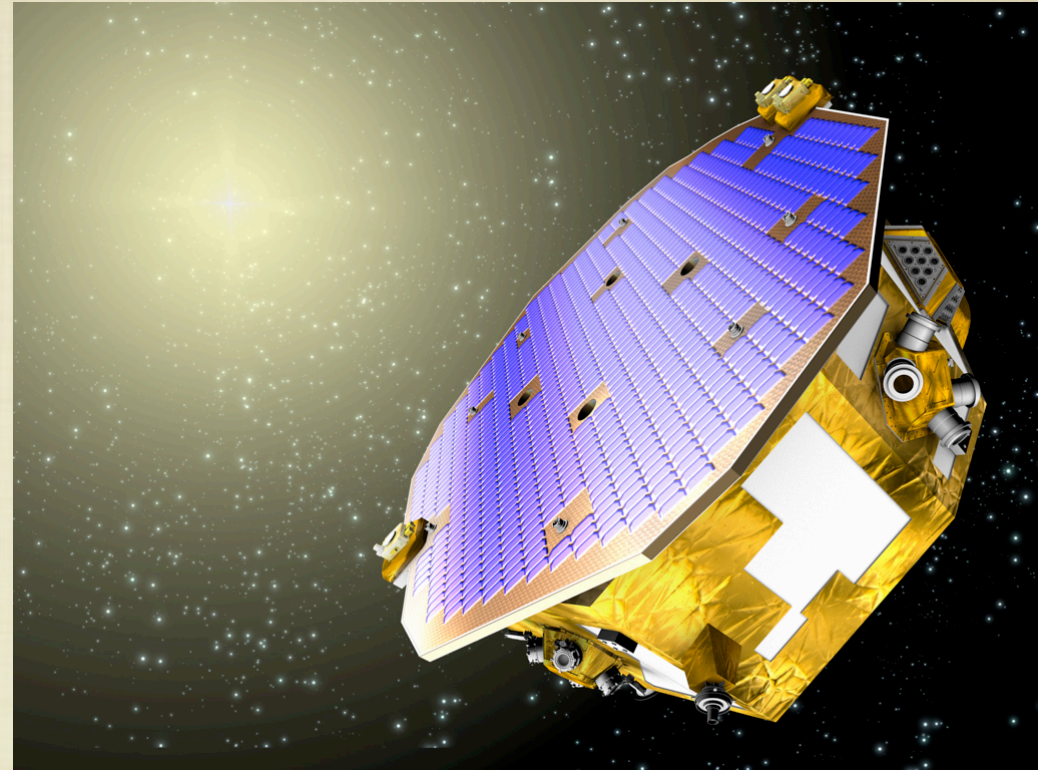




# LISA, eLISA und LPF

Dieses Jahr wird ESA's LISA Pathfinder (LPF) starten. Es wird die neue Technologien prüfen, die für LISA notwendig sind.

ESA hat entschieden, für das L3 Start (2034) ein GW Mission zu planen.  
Projektname: eLISA.



Information: <http://www.elisascience.org>





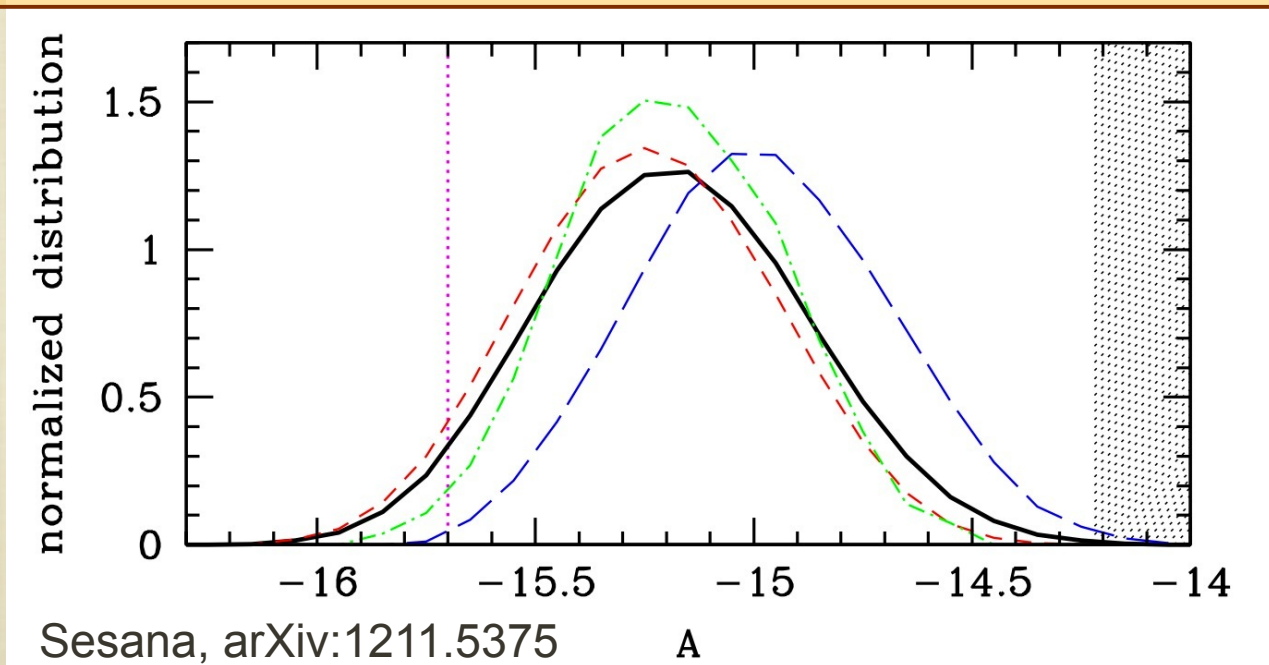
# Ist ART richtig?

130 days before merger, 34% of light speed

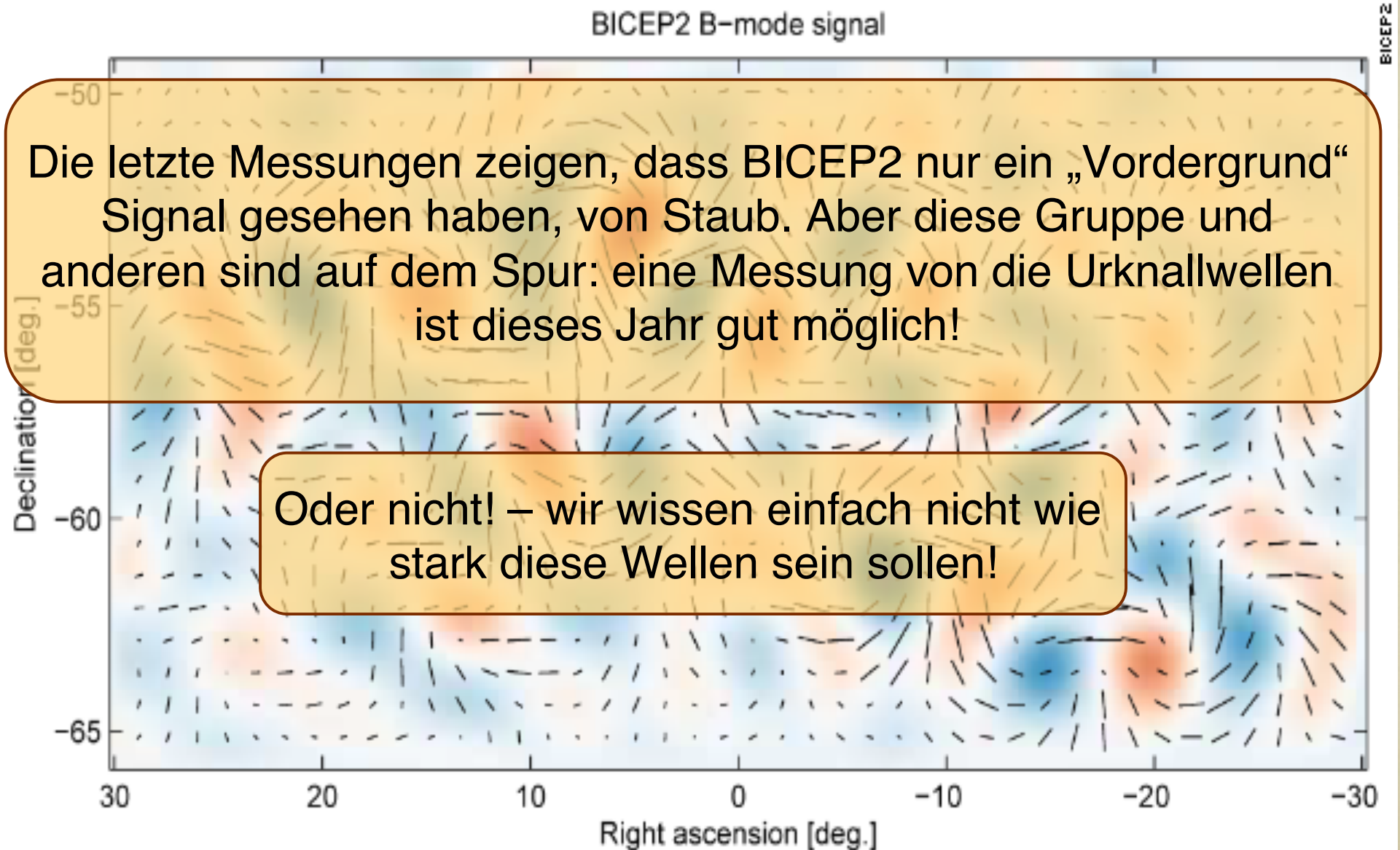


# Pulsar Timing

Radioastronomen auf der ganzen Welt machen präzise Aufzeichnung der Ankunftszeiten der Pulse von extrem stabilen Millisekunden-Pulsare. Die kleinen Variationen in diese Ankunftszeiten können durch GWs produziert werden. Sie werden bis 2020 die erste Signale von den massivsten schwarzen Löchern erkennen:  $10^9$  Sonnenmassen !



# Urknallwellen





# Weiter über GW

- Projekt Webpages
  - LIGO: <http://www.ligo.caltech.edu/#>
  - GEO600: <http://www.geo600.org>
  - Virgo: <http://www.ego-gw.it/public/virgo/virgo.aspx>
  - eLISA/LISA: <https://www.elisascience.org>
  - LISA Pathfinder:  
[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/LISA\\_Pathfinder\\_overview](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/LISA_Pathfinder_overview)
- Wissenschaft
  - Einstein Online: [http://www.aei.mpg.de/10930/10\\_Einstein\\_Online](http://www.aei.mpg.de/10930/10_Einstein_Online) (Deutsch/Englisch)
  - Scienceface (interviews): <http://www.scienceface.org>
- Bücher
  - B Schutz, *Gravity from the ground up*
  - andere Autoren: H Collins, M Bartusiak, T Bührke, L Smolin, J Ehlers
- Helfen Sie bei unserer Datenanalyse – entdecken Sie die erste Signale!  
Einstein@Home downloaden: [http://www.aei.mpg.de/154894/03\\_Einstein\\_Home](http://www.aei.mpg.de/154894/03_Einstein_Home)



