

WAS IST LOFAR?

Das Low Frequency Array

Von Clemens Böhm, Januar 2014

ÜBERSICHT

- I. Was ist LOFAR?
 - II. Wie funktioniert LOFAR?
 - III. Welche Ziele hat LOFAR?
 - IV. Welche Erfolge hatte LOFAR bis jetzt?
 - V. Welche Vorteile bzw. Nachteile hat LOFAR?
 - VI. Wie hat alles angefangen - was kommt in der Zukunft?
-

WAS IST LOFAR?

- LOFAR: „LOW Frequency ARray“
- Europaweit vernetztes digitales Radioteleskop
- Zentralstation bei Exloo/Niederlande
- Supercomputer zur Auswertung in Groningen/ Niederlande
- Simulierte Größe ~ 1000km – einzelne Stationen in fünf Ländern
- Forschung bei Radiofrequenzen von 10-80MHz und 110-240MHz

WAS IST LOFAR?
WIE SIEHT LOFAR AUS?

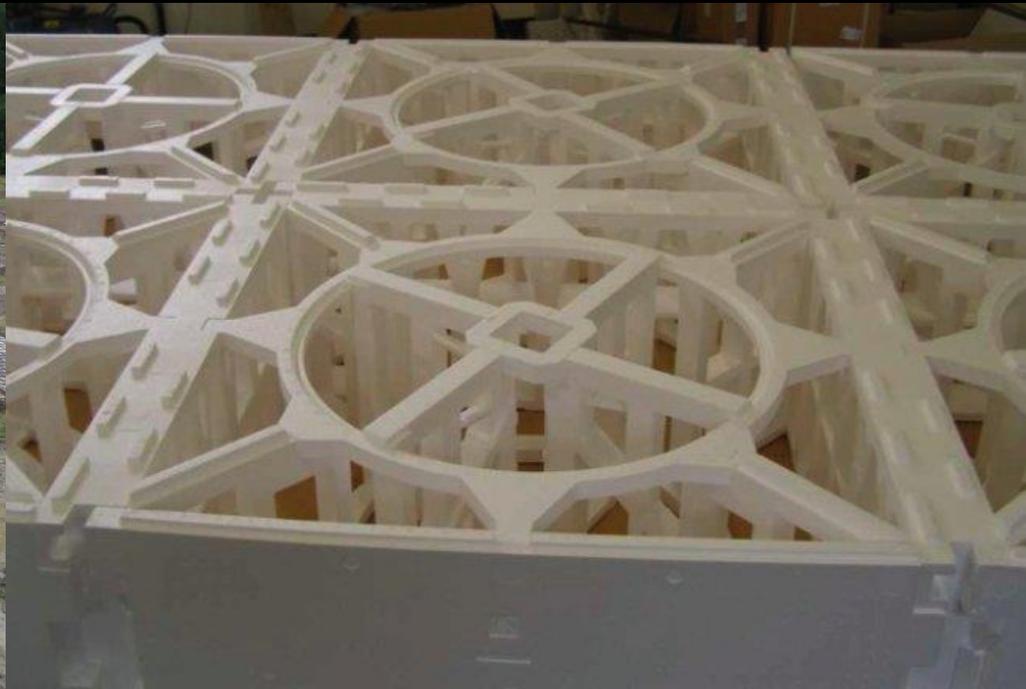


LOFAR-Station Effelsberg

Antennen für 10-80MHz vorne,
für 110-240MHz hinten im Bild

WAS IST LOFAR? DIE ANTENNEN

- Einzelne LOFAR Kreuzdipol-Antenne für den Frequenzbereich 10-80 MHz
- Einzelne LOFAR Antenne für den Frequenzbereich 110-240 MHz



Wie groß ist LOFAR?

Stationen:

- 40 in den Niederlanden
- 5 in Deutschland
- 1 in Großbritannien
- 1 in Schweden
- 1 in Frankreich
- weitere in Planung



WIE FUNKTIONIERT LOFAR? PHASED ARRAY

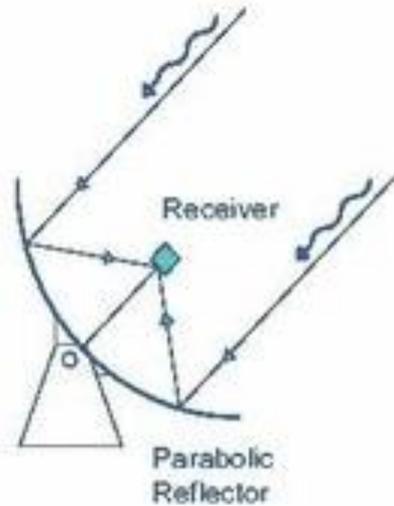


Abb. 1: Strahlengang im „klassischen“ Radioteleskop

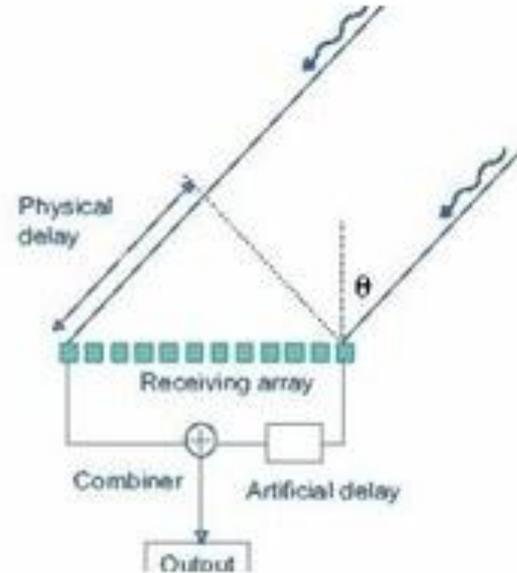


Abb. 2: Strahlengang im sogenannten „Phased Array“

WIE FUNKTIONIERT LOFAR?

INTERFEROMETER

- Bei „herkömmlichen“ Einzelteleskopen ist das Auflösungsvermögen α umgekehrt proportional zum Durchmesser d (siehe Formel unten mit Wellenlänge λ).
- Um einen noch größeren (virtuellen) Durchmesser zu bekommen, kann man zwei oder mehr Teleskope zusammenschalten, wobei der Abstand der Teleskope für das Auflösungsvermögen dem Durchmesser bei einem einzelnen Teleskop entspricht.
- Für das bestmögliche Bild mit der besten Lokalisierung schaltet man also möglichst viele Einzeloptiken bzw. bei LOFAR Antennenpaare zusammen.

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{d}$$

WIE FUNKTIONIERT LOFAR? DAS ZENTRUM DER SUPERCOMPUTER BLUE GENE/P

- Glasfaserleitungen von allen Teleskopen
- Bis zu 300Gb/Sek. Datenmaterial
- 27 Teraflops Rechenleistung
- 2 Speicherzentren mit je 1 Petabyte Speicherkapazität speichern ungefiltert 2 Minuten



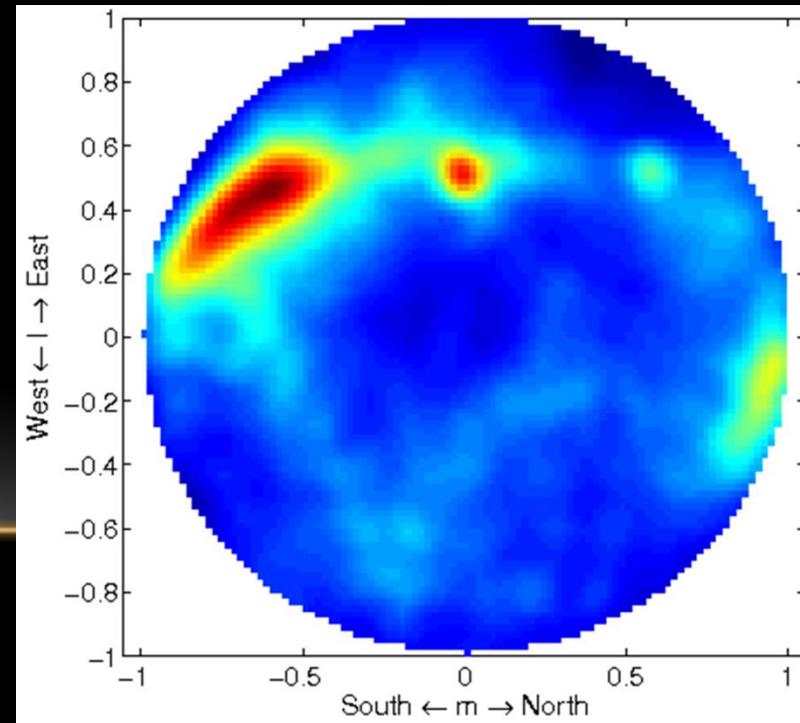
WIE FUNKTIONIERT LOFAR?

LOFAR EFFELSBURG ALS „STAND ALONE“

- Natürlich müssen nicht permanent alle LOFAR-Stationen zusammengeschaltet arbeiten, einzelne LOFAR-Stationen können ebenso Aufnahmen machen.
- Da diese Aufnahmen einerseits natürlich eine viel geringere Auflösung haben, andererseits die einzelnen Abstände der Antennen viel kleiner sind und so ein größeres Bild erzeugen eignen sie sich am besten für die Erforschung ausgedehnter Bereiche der Milchstraße.

Das rechte Bild ist das erste Radiobild des gesamten Himmels der Effelsberger LOFAR-Station, gemessen am 15. November 2007 bei 40 MHz mit den 96 Antennen für lange Wellenlängen mit nur 1 Sekunde Integrationszeit. Oben links ist die Radio-Milchstraße zu erkennen, in der Mitte oben der Supernova-Überrest Cas A und oben rechts die Radiogalaxie Cyg A.

Ganz rechts sieht man starke Störstrahlung 100m-Teleskops, das wegen der Logistik nur wenige Meter neben der LOFAR-Station steht.

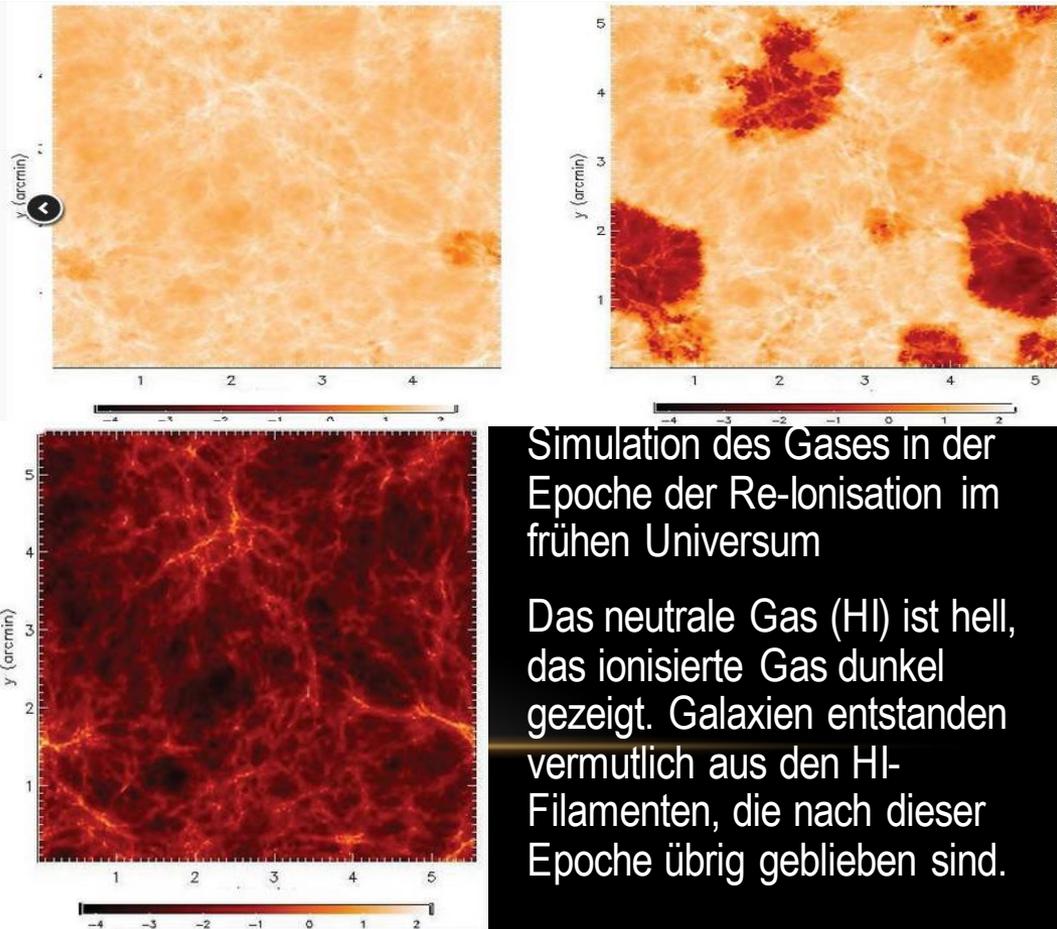
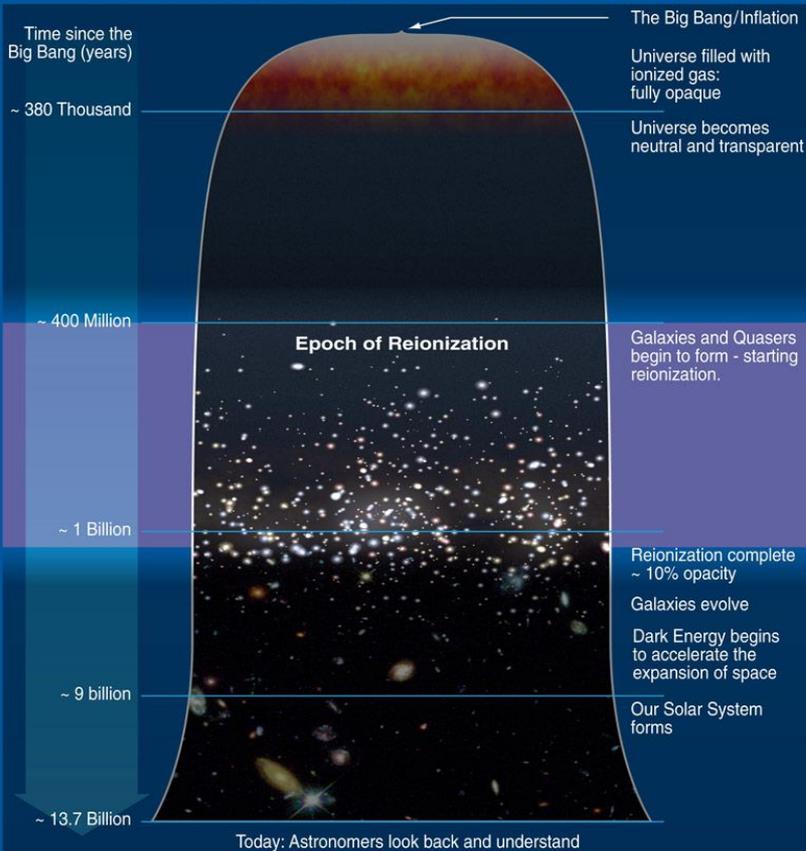


WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

DIE EPOCHE DER RE-IONISATION

Radiolinien des neutralen Wasserstoffs (HI), deren ursprüngliche Wellenlänge 21cm beträgt, und die durch Rotverschiebung auf 2-4 Meter Wellenlänge ausgedehnt worden sind

First Stars and Reionization Era



WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

EXTRAGALAKTISCHE FORSCHUNG

- LOFAR bietet alle Hard- und Software-Voraussetzungen um außerhalb der Milchstraße zur Erforschung anderer Galaxien eingesetzt zu werden



die Galaxien M81 (links) und M82 (rechts)

WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

KARTEN VON RADIOQUELLEN

- Mit LOFAR ist es möglich, den gesamten Himmel, der von Europa aus sichtbar ist (ca. 60%) innerhalb von nur einer Nacht komplett mit einem noch nie dagewesenen Detailreichtum zu vermessen und diese Daten sofort mit anderen Karten abzugleichen
- Gesucht wird besonders nach:
 - Schwarzen Löchern (Supernovae)
 - Flare-Sternen
 - Radiostrahlung von Exoplaneten
 - Pulsaren
 - SETI-Signalen (SEArch for extraTerrestrial Intelligence)

WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

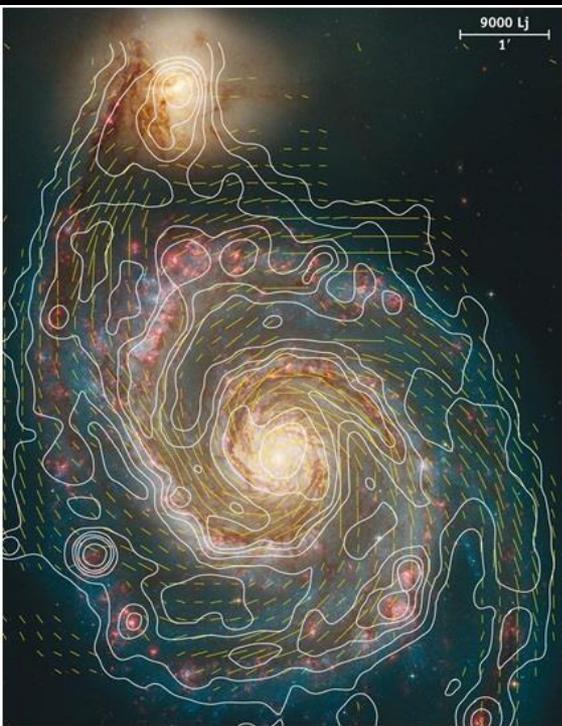
HOCHENERGETISCHE KOSMISCHE STRAHLUNG

- LOFAR hat einzigartige Möglichkeiten, die Entstehung von Hoch- bzw. Ultrahochenergetischer Strahlung zu erforschen
- Möglichkeiten dafür sind: Stoßwellen (Schocks) in Strahlungsintensiven Radiogalaxien
 - Intergalaktische Schocks während der Epoche der Galaxienbildung
 - Hyper-Novae
 - Gammastrahlungsausbrüche (Gamma-ray Bursts)
 - Zerfallsprodukte von supermassereichen Teilchen aus dem frühen Universum
- Nachweis durch intensive Radiopulse beim Auftreffen der Strahlung in die Erdatmosphäre

WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

KOSMISCHE MAGNETFELDER

- LOFAR wird in Zukunft als erstes Teleskop energiearme Radiostrahlung erforschen, die von Elektronen in schwachen Magnetfeldern erzeugt wird.
- Möglicherweise existieren Magnetfelder im Bereich um und zwischen Galaxien; LOFAR könnte schwache Radiostrahlung von diesen Magnetfeldern entdecken.

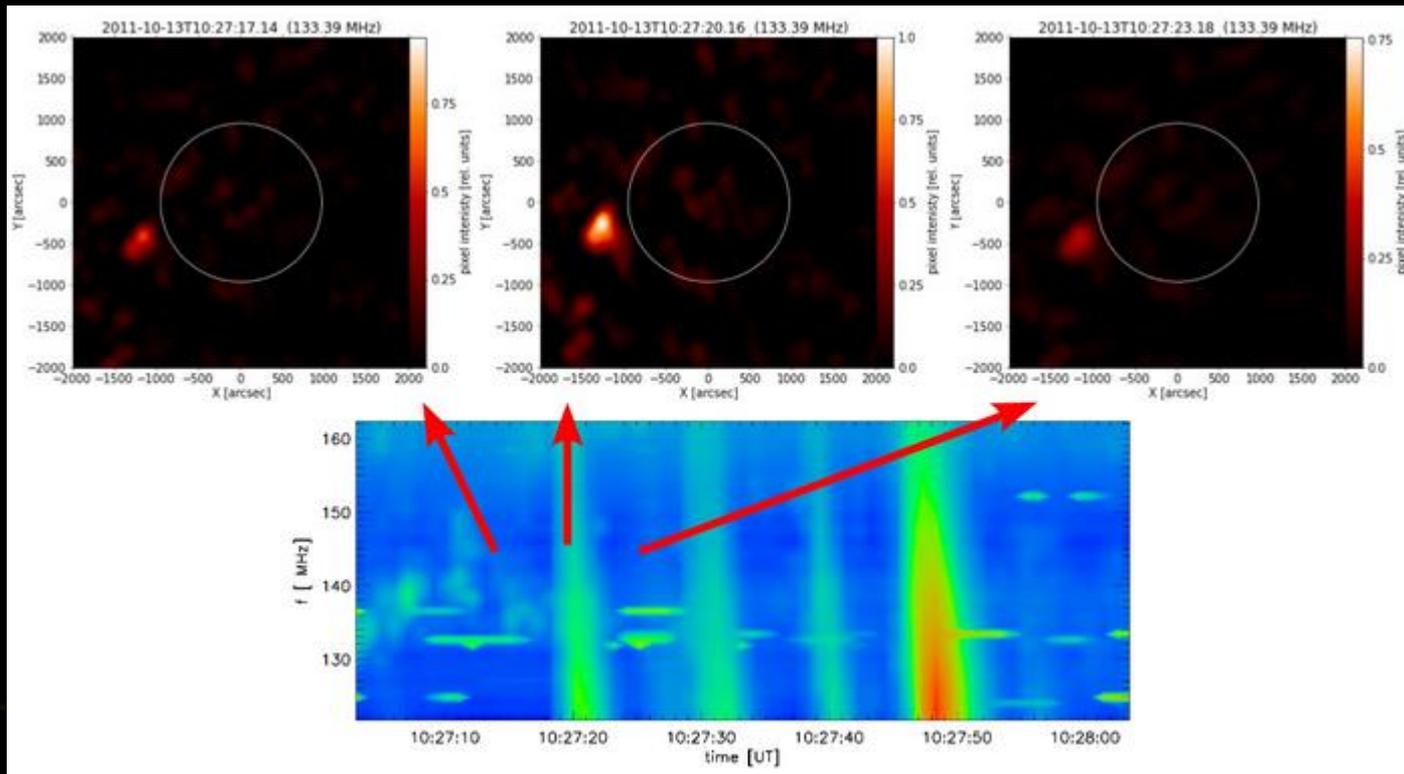


Galaxie Messier 51, links ein Bild des Magnetfelds, rechts ein Radiobild von LOFAR aufgenommen

WELCHE ZIELE HAT LOFAR?

SONNENPHYSIK UND KOSMISCHES WETTER

- Auch wenn die Sonne schon im Normalzustand eine starke Radioquelle ist, gibt es hin und wieder noch stärkere Radiostrahlung von Sonneneruptionen oder koronalen Massenauswürfen
- Zum Routineprogramm von LOFAR wird in Zukunft die Beobachtung der Sonne gehören

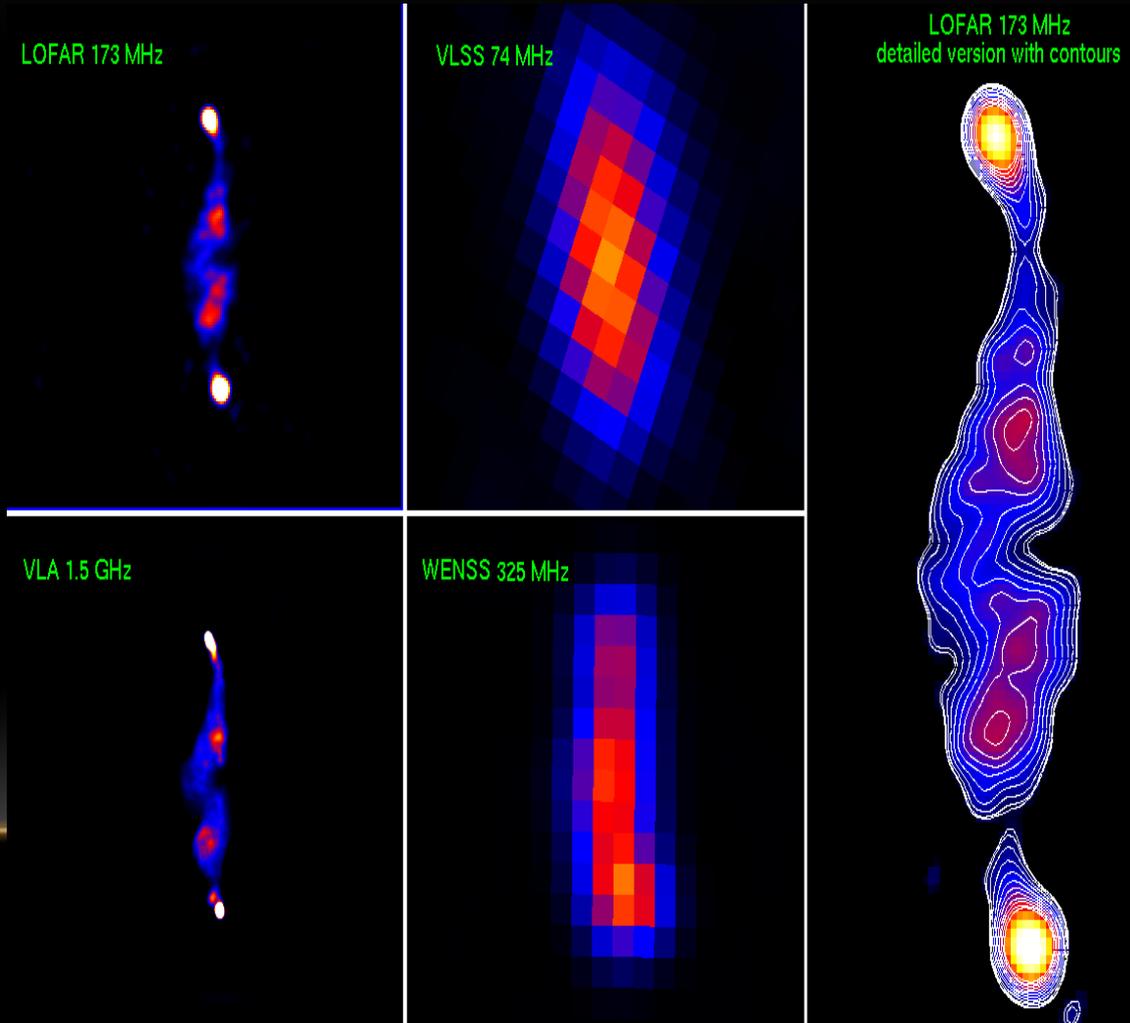


Von LOFAR aufgenommenes Bild einer Sonneneruption (unten), das Gleiche im sichtbaren Licht (oben)

WELCHE ERFOLGE HATTE LOFAR BIS JETZT?

LOFAR kann viel höher aufgelöste
Bilder aufnehmen als andere
Radioteleskope bei vergleichbaren
Wellenlängen.

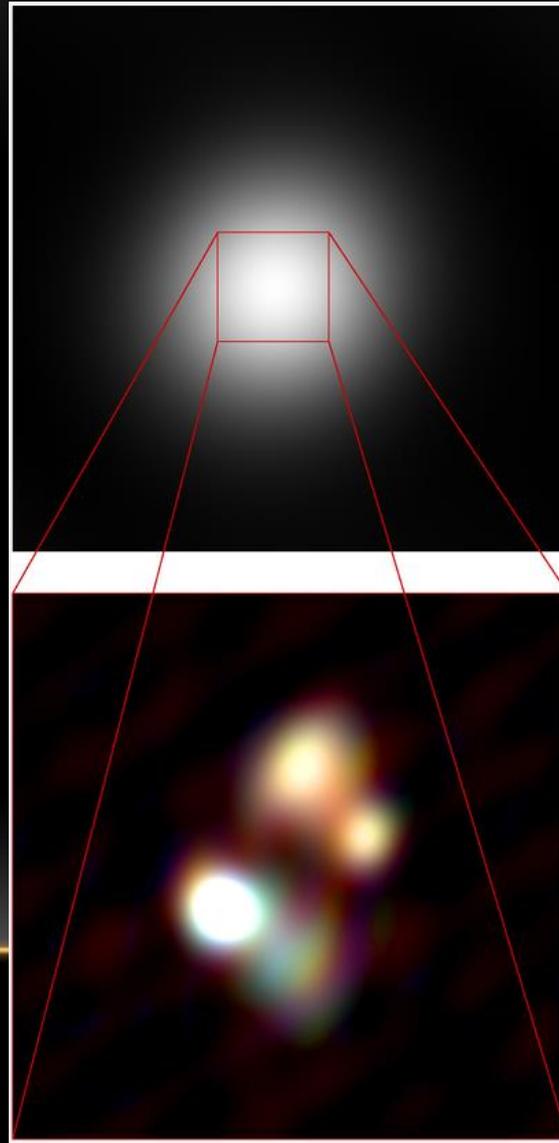
Das Bild rechts zeigt die Galaxie 3C61.1
von drei verschiedenen Teleskopen
(neben LOFAR das VLA in den USA
und das Niederländische Westerbork-
Teleskop) aufgenommen.



WELCHE ERFOLGE HATTE LOFAR BIS JETZT?

LOFAR kann viel höher aufgelöste Bilder aufnehmen als andere Radioteleskope bei vergleichbaren Wellenlängen.

Das Bild rechts zeigt Bilder des Quasars 3C 196, nur mit den niederländischen LOFAR-Stationen (oben) und unter Beteiligung der deutschen LOFAR-Stationen (unten). Erst damit wird die Struktur des Quasars aufgelöst.



VORTEILE - NACHTEILE

Vorteile:

- Hohe Auflösung bzw. Bildqualität
- Günstiger Preis für die Antennen
- Leicht erweiterbar
- Theoretisch unbegrenztes Bildfeld
- Durch Software lernfähig

Nachteile:

- Teure Computer
 - Teure Datenleitungen
-

RÜCKBLICK: LOPES

- LOPES (LOFAR PrototypE Station) = Prototyp von LOFAR
- war ein digitales Radioantennenfeld zur Messung von Luftschauern, die durch kosmische Strahlung ausgelöst werden
- Befand sich am Campus des Karlsruher Institut für Technologie
- Wurde 2013 nach ca. 10 Jahren Messbetrieb abgebaut

rechts: Bild einer LOPES-Antenne

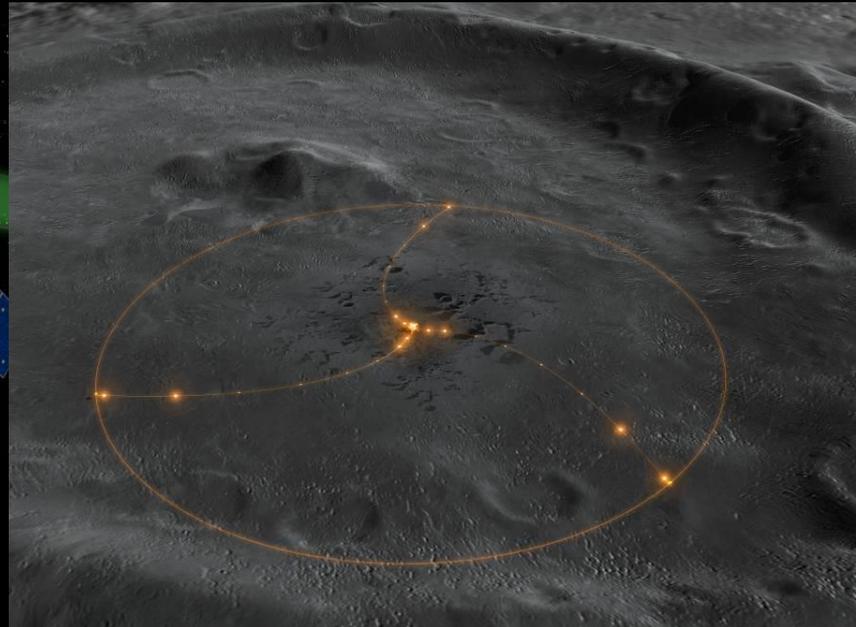
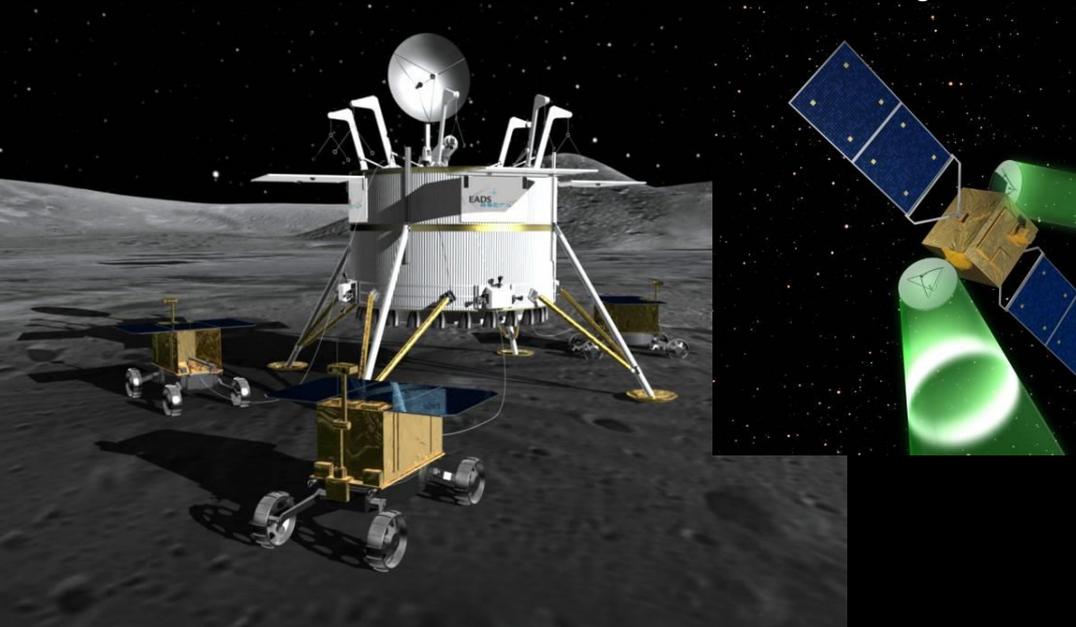


DAS SQUARE KILOMETRE ARRAY

- In Planung befindliches Radioteleskop mit Gesamtsammelfläche von ca. 1km^2 über eine Distanz bis zu 3000km in Australien und Südafrika.
- 50 mal empfindlicher als andere Radioteleskope, wird den Himmel zehntausendfach schneller kartieren können
- Die Auswertung der zukünftigen Daten wird die Datenrate des heutigen Internetverkehrs übersteigen
- Der Bau startet 2016 mit einem Budget von $1,5\text{Mrd Euro}$ im Rahmen einer Kollaboration von z.Z. 11 Ländern
- Das Blickfeld wird bis zu $200\text{ (}^\circ\text{)}^2$ unter 1GHz und mehr als $1\text{ (}^\circ\text{)}^2$ bei höheren Frequenzen betragen, durch Phased-Array-Technologie wird allerdings viel mehr beobachtet werden können. Im endgültigen Ausbau wird das SKA eine Abdeckung von 70MHz bis 10GHz gewährleisten.
- Offizielle Ziele des SKA sind Tests der Relativitätstheorie, Erforschung von Galaxien, Dunkler Materie und Dunkler Energie, Messung der „Dark Ages“, der ersten schwarzen Löcher und Sterne sowie des kosmischen Magnetismus. Allerdings lässt die einzigartige Empfindlichkeit und Vielseitigkeit auch auf komplett neue Entdeckungen hoffen.

MÖGLICHER AUSBLICK - LUNAR LOFAR

- Aufgrund der Atmosphäre der Erde kann LOFAR die Frequenzen unterhalb von 10 MHz nicht erforschen
- Raketen und Roboter könnten Dipol-Antennen auf den Mond bringen und dort aufstellen
- Geplant sind 30-100 Antennen, im ersten Schritt in einem größten Abstand von 10km, in fernerer Zukunft in 100km Abstand
- Die Antennen müssten auf der Rückseite des Mondes stehen und über eine Relaisstation um den Mond Daten an die Erde übertragen



VIELEN DANK

BILDQUELLEN

- LOFAR Effelsberg: <http://www.universetoday.com/65635/first-high-res-low-frequency-radio-image-from-lofar-array/>
- LOFAR-Antennen: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/lofar/messprinzip>
- Lage der Stationen: <http://blog.lofar-uk.org/2012/06/new-map-of-international-lofar.html>
- Phased Array: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/lofar/messprinzip>
- Blue Gene/P: <http://makezine.com/2010/06/14/lofar-is-now-online/>
- Radiobild LOFAR Effelsberg: (© P. Müller, MPIfR und S. Wijnholds, ASTRON)
- Epoche der Reionisation: <http://en.wikipedia.org/wiki/Reionization>
- Simulation des Gases: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/lofar/ziele>
- Galaxien M81/M82: <http://apod.nasa.gov/apod/ap060415.html>
- Galaxie M51: MPIfR Rainer Beck, Andrew Fletcher
- Sonne: <http://www.aip.de/en/news/science/Lofar>
- Galaxie 3C61.1: <http://www.lofar.org/high-resolution-lofar-image-3c611>
- Vergleich LOFAR Niederlande/Deutschland+Niederlande: Olaf Wucknitz (PR MPIfR 1.6.2010)
- LOPES-Antenne: <http://de.wikipedia.org/wiki/LOPES>
- Lunar LOFAR: <https://www.astro.ru.nl/Moon/doku.php/projects:lufar>
- Bild Galaxie M51: <http://de.wikipedia.org/wiki/Whirlpool-Galaxie>

ENDE

Präsentation zur nichtkommerziellen Nutzung ohne Veränderung
freigegeben

Vielen Dank an Dr. Junkes für seine Unterstützung
und an Jana Köhler für die Einblicke in ihre Arbeit