

**Atacama Large Millimeter/submillimeter Array**

**66 SCHÜSSELN IN  
DEN BERGEN**

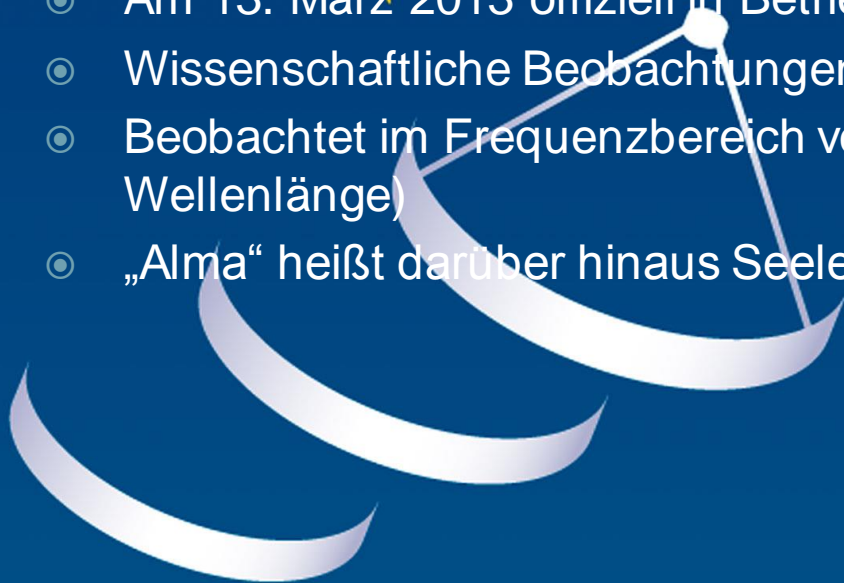
Von Clemens Böhm,  
Januar 2014

# Übersicht

- Was ist ALMA?
- Wie funktioniert ALMA?
- Was erforscht ALMA?
- Beobachtungsergebnisse
- Die Geschichte von ALMA – MMA, LSA, LMA
- Andere Teleskope in der Umgebung – Apex, CCAT

# Was ist ALMA?

- Das Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)
- Das größte Radioteleskop der Welt
- Das mit 1 Mrd Euro bislang teuerste Radioteleskop der Welt
- Am 13. März 2013 offiziell in Betrieb genommen
- Wissenschaftliche Beobachtungen finden seit Oktober 2011 statt
- Beobachtet im Frequenzbereich von 30 bis 950 GHz (0,3 – 9,5mm Wellenlänge)
- „Alma“ heißt darüber hinaus Seele auf Spanisch und Portugiesisch



# ALMA

Bild links: Das Logo von ALMA  
Dazu der [deutsche Wikipedia-Artikel](#)  
über ALMA

# Was ist ALMA?

## Wo steht ALMA?

- etwa 5050 m Höhe über dem Meeresspiegel auf dem Chajnantor-Plateau in der Atacamawüste, nahe der Oase von San Pedro de Atacama in den nordchilenischen Anden
- Fernab von jeglicher Zivilisation, um Störstrahlung zu vermeiden
- Die Höhe und die Trockenheit sind notwendig für die extrem kurzwelligen Radiomessungen von ALMA.
- Das höchstgelegene Teleskop der Welt, gut doppelt so hoch gelegen wie das VLT

Bild im Hintergrund: eine Luftaufnahme von ALMA,  
aus einem [Artikel](#) der Max-Planck-Gesellschaft



# Was ist ALMA?

## Die Flora und Fauna

● In der Atacamawüste gibt es einiges an Flora und Fauna. Alle Fotos wurden in direkter Nähe zu Alma aufgenommen.





# Was ist ALMA?

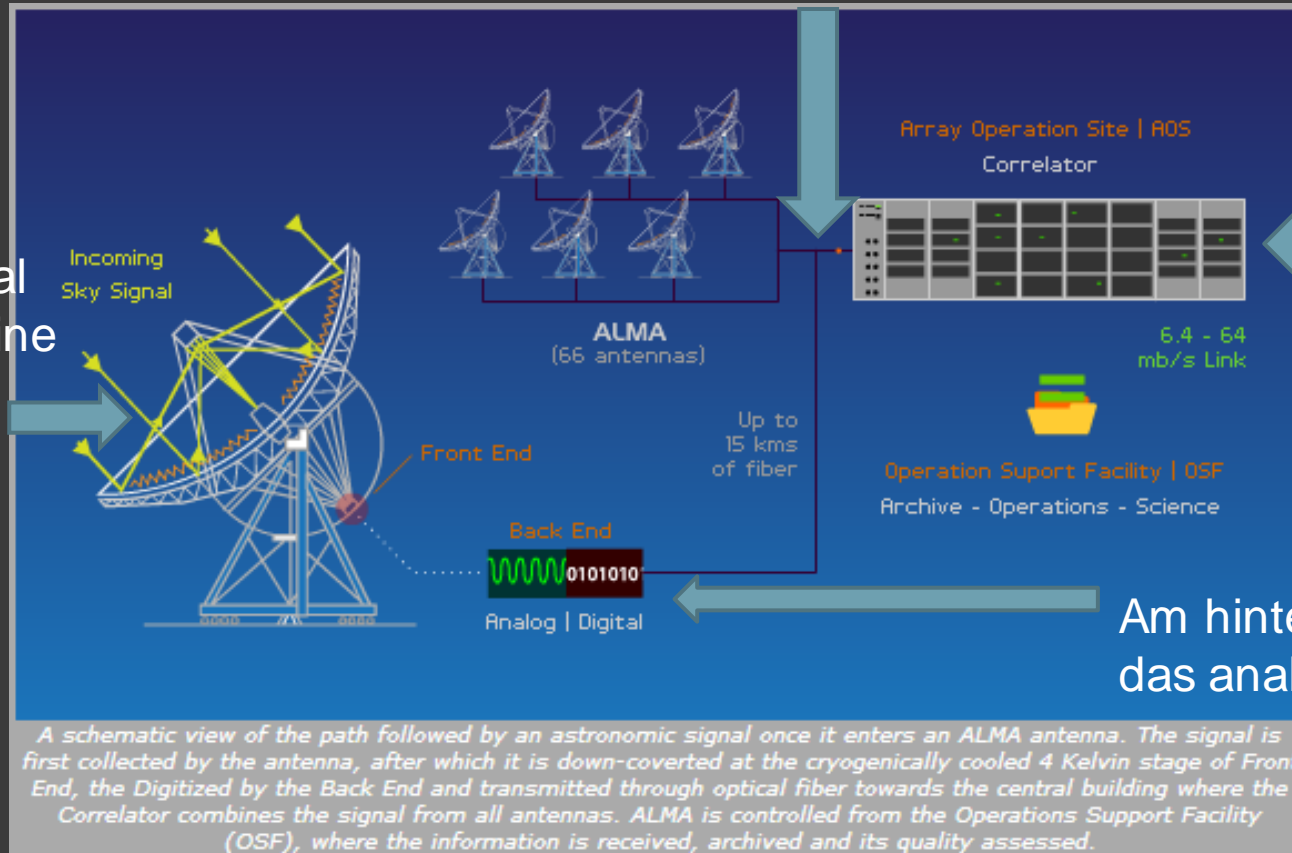
## Die Teleskope

- ⦿ besteht aus 66 Antennen – 54 mit 12 Metern Durchmesser und 12 mit 7 Metern Durchmesser
- ⦿ Beobachtet bei Wellenlängen zwischen 0,3 und 9,6 mm
- ⦿ Die Antennen werden über das Plateau bewegt und dabei in Abständen von 150 m bis 16 km auf jeweils fünf Millimeter genau positioniert. Das ermöglicht es, ALMA als variables „Zoomteleskop“ einzusetzen, ähnlich wie beim Very Large Array (VLA) in New Mexico, USA.



# Wie funktioniert ALMA?

Die Signale werden  
zusammengeschaltet



Das Signal  
trifft auf eine  
einzelne  
Antenne

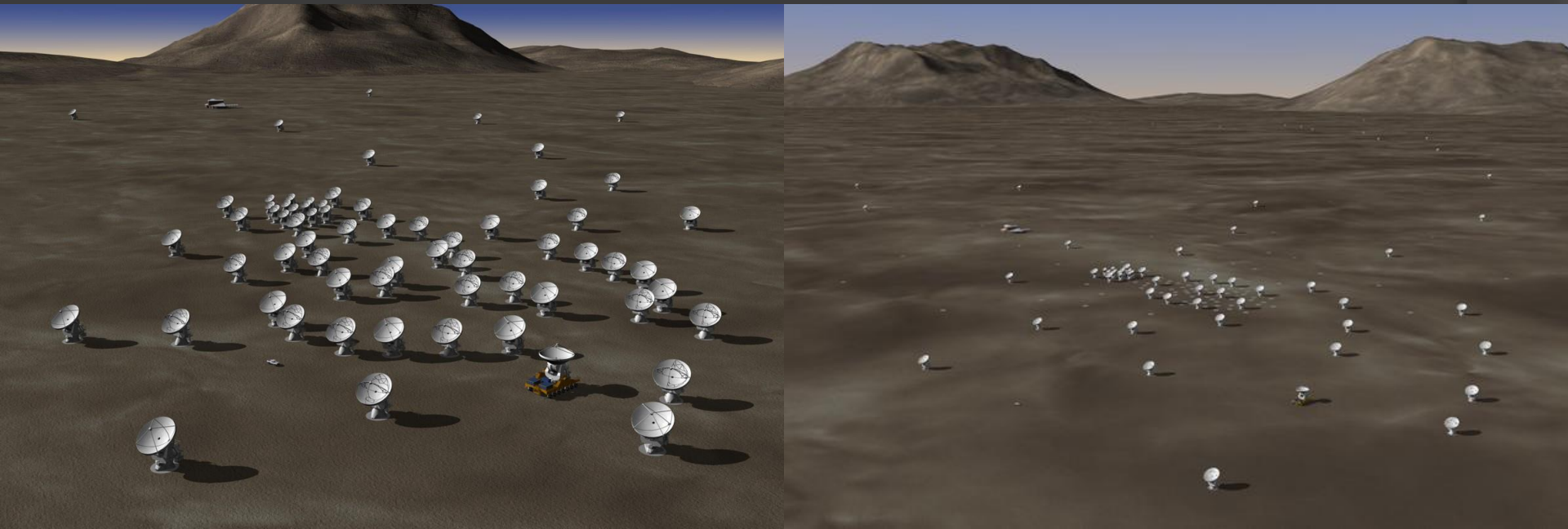
Und im  
Korrelator  
ausgewertet

Am hinteren Ende wird  
das analoge Signal  
digitalisiert

# Wie funktioniert ALMA?

## Das Zoom-Teleskop

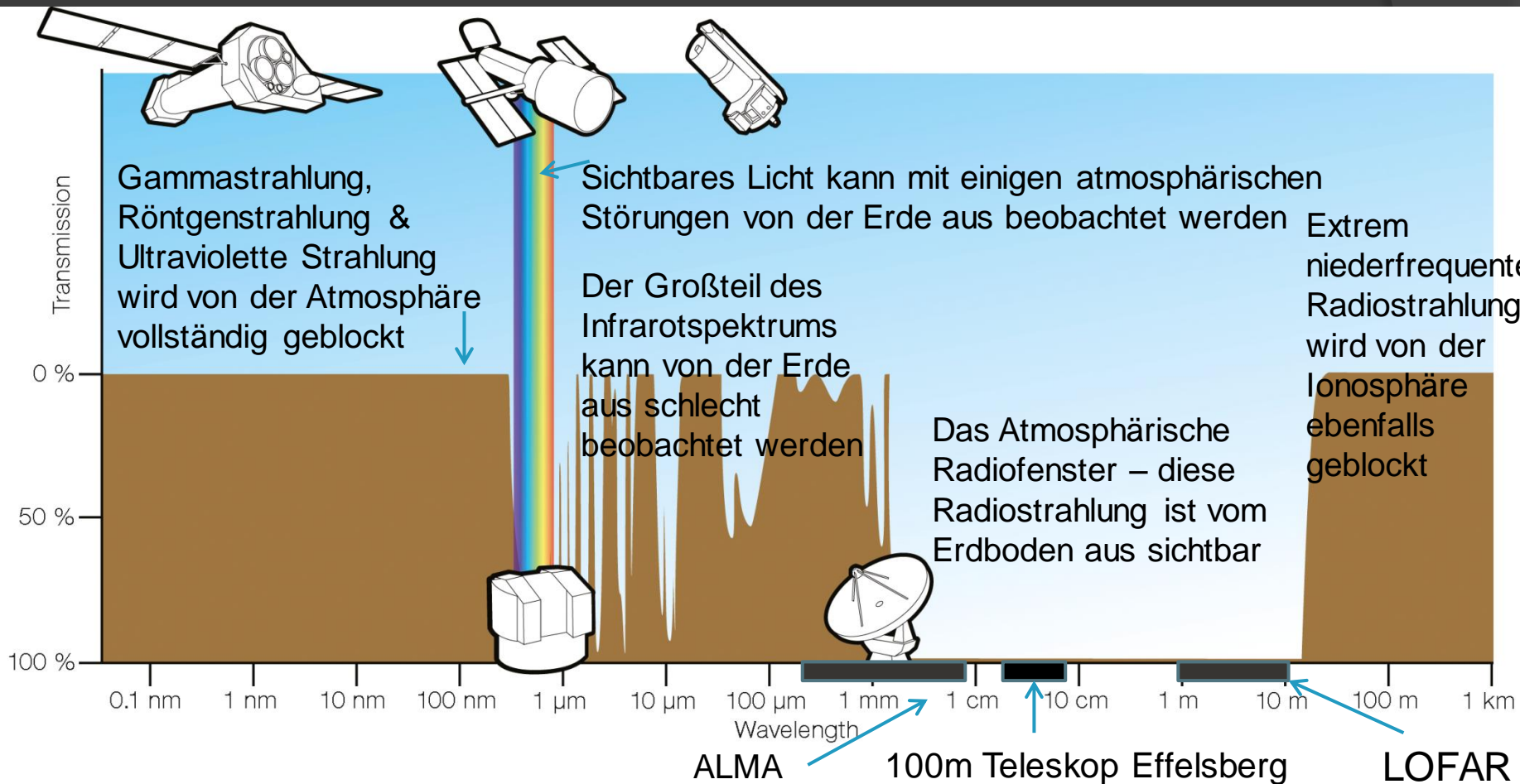
- Durch Änderung der Antennenposition kann Alma wahlweise empfindlicher oder schärfer sehen – die Antennen können auf 192 verschiedenen Stellplätzen positioniert werden.
- Bei kompakter Antennenanordnung werden schwächer strahlende Regionen sichtbar – bei ausgedehnter Antennenanordnung verbessert sich die räumliche Auflösung der Strukturen.





# Wie funktioniert ALMA?

## 5050m hoch in der Wüste - Atmosphäre



# Wie funktioniert ALMA?

## Die Transporter

Zwei Transporter: „Otto“ und „Lore“

10 m breit, 20 m lang und 6 m hoch, mit je 24 Reifen

Gewicht: 130 Tonnen

1500l Tank

Können die 50 europäischen & amerikanischen 12m großen Antennen bis auf wenige Millimeter genau positionieren und auf betonierten Grundplatten abstellen

700-HP (500kW)-Dieselmotoren, die in 5000m Höhe nur noch gerade einmal die Hälfte (350-HP) leisten

Top-Speed: 20km/h, mit Antenne: 12km/h

Bilder der Transporter, dazu [ein Bericht der ESO](#)





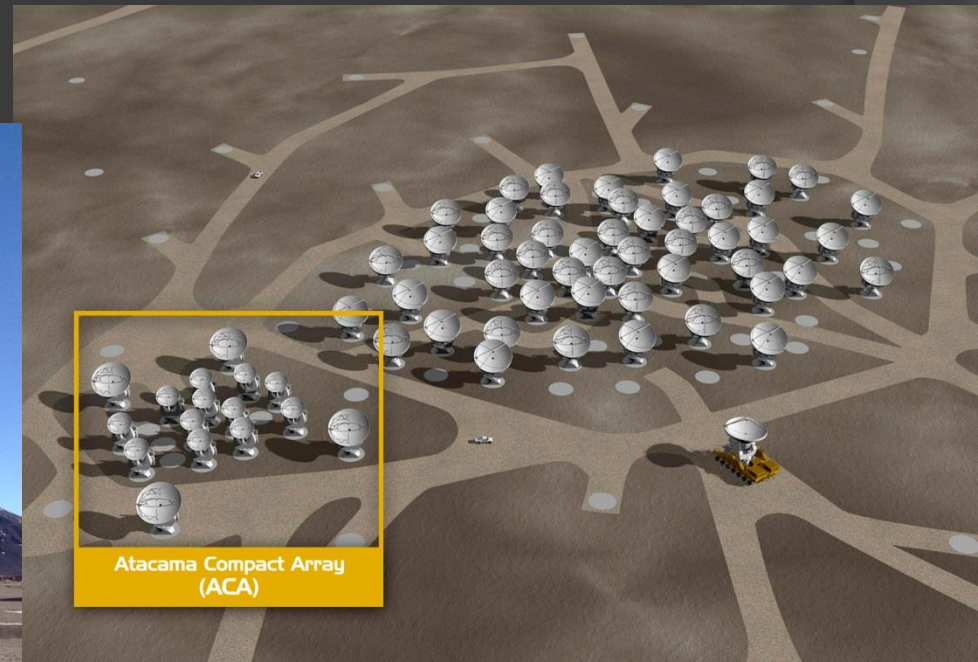
# ALMA unterm Sternenhimmel mit Magellanschen Wolken





# Das Atacama Compact Array (ACA)

- Von Japan geliefertes kleineres Interferometer, bestehend aus vier 12 Meter großen und 12 sieben Meter großen Antennen
- Durch die kleineren 7-m-Antennen kann das ACA bei gleicher Frequenz ein größeres Gebiet beobachten als das Hauptarray. Da sie näher zusammenstehen, können Bilder von Objekten mit größerer Ausdehnung gemacht werden. Zusammen mit dem Hauptarray wird die Möglichkeit von ALMA erweitert, große Gesichtsfelder zu beobachten.





# Wie funktioniert ALMA?

## Der Korrelator

- Der Korrelator ist ALMAs Gehirn. Es ein Supercomputer, dessen einzige Aufgabe es ist, die von den Antennen ankommenden Daten zu kombinieren, um astronomische Daten für die anschließende Analyse bereitzustellen. Der Korrelator multipliziert die Signale der verschiedenen Antennen und speichert die Daten, die für ein 2D-Bild der beobachteten Region notwendig sind. Dabei komprimiert der Computer die Datenmenge mehrfach.

Bild im Hintergrund: Der ALMA-Korrelator, ein Rechner mit 134 Millionen Prozessoren, welche die empfangenen Signale mit 17 PetaFLOPs verarbeiten können.



# Was erforscht ALMA?

- Zu den Aufgaben von ALMA gehört die Erforschung der Entstehungsgebiete von Planeten und Sternen in kalten interstellaren Wolken und protoplanetaren Akkretionsscheiben.
- Millimeterwellen sind besonders gut geeignet, ausgedehnte Gas- und Staubwolken zu durchdringen, die die Entstehungsgebiete von Sternen und Planeten verhüllen.
- Infrarotgalaxien im frühen Universum, Supermassereiche Schwarze Löcher und Galaxienentstehung sind weitere wichtige Forschungsgebiete von ALMA.
- Darüber hinaus soll ALMA helfen, wichtige Fragen bei der Erforschung von Dunkler Materie und Dunkler Energie zu beantworten.

Bild im Hintergrund:  
[Centaurus A](#)



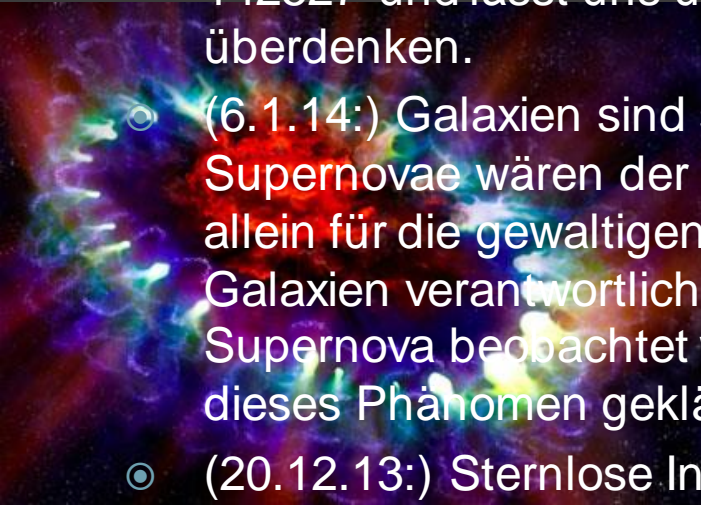
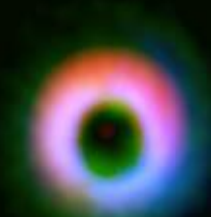
# Erste Beobachtungsergebnisse

- Im Sommer 2011 waren während Testbeobachtungen genug Antennen im Betrieb, um erste Bilder mit ALMA aufzunehmen. Diese gaben einen Vorgeschmack dessen, was von dem neuen Interferometer nach der Fertigstellung zu erwarten ist.
- Die Beobachtungen richteten sich auf die Antennen-Galaxien, zwei kollidierende Galaxien mit dramatisch verzogenen Formen. Obwohl ALMA nicht den gesamten Bereich der Galaxien beobachtet hat, zeigen diese Bilder die besten Ergebnisse dieser Galaxien, die jemals im Submillimeterbereich gewonnen wurden. Sie zeigen Wolken von kaltem, dichten Staub, in denen neue Sterne geboren werden – Einzelheiten, die im visuellen Bereich des elektromagnetischen Spektrums nicht beobachtet werden können.
- Zurzeit entdeckt ALMA beinahe jede Woche neue kosmische Phänomene

Bild im Hintergrund: Die Antennen-Galaxien NGC 4038/39 in einer kombinierten Aufnahme von ALMA und dem Hubble-Weltraumteleskop

# Resultate – neuste Entdeckungen

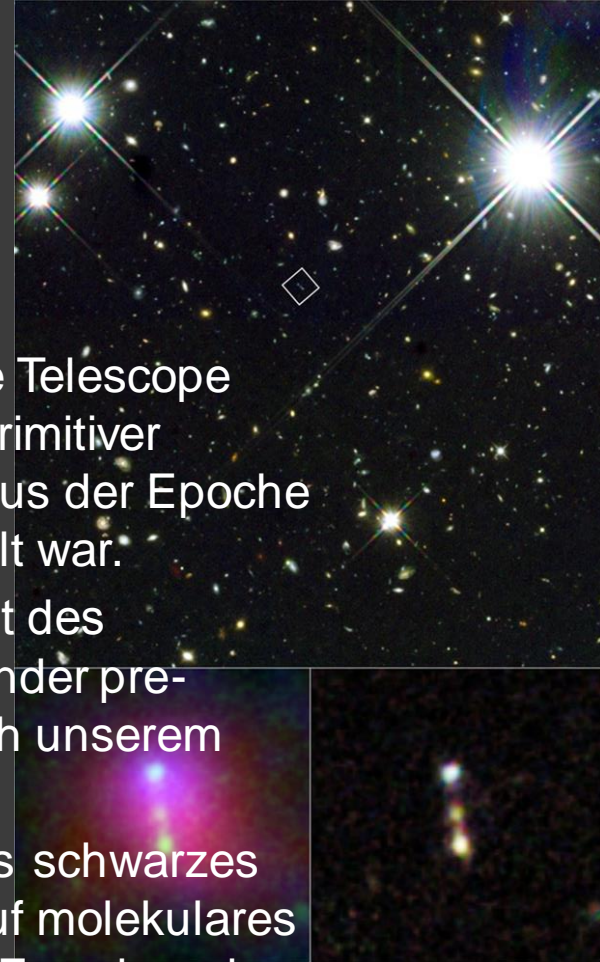
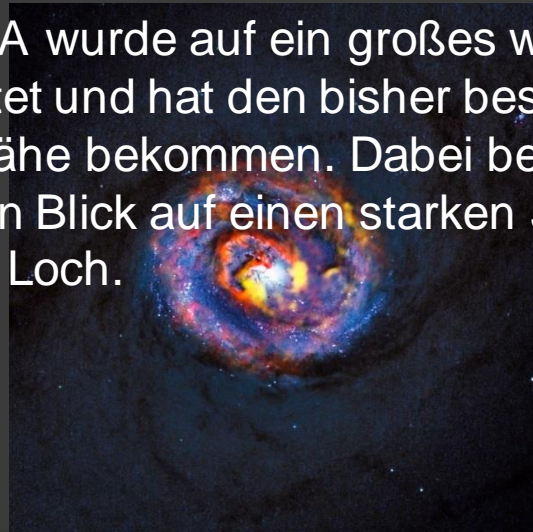
- (14.1.14:) ALMA entdeckt die Entstehung eines gewaltigen Sonnensystems als asymmetrischen Ring um den jungen Stern HD 142527 und lässt uns unsere Theorien zur Planetenentstehung überdenken.
- (6.1.14:) Galaxien sind staubige Orte. Bislang dachte man, Supernovae wären der Grund dafür, diese konnten aber nicht die allein für die gewaltigen Staubmengen in jungen, weiter entfernten Galaxien verantwortlich sein. Mit ALMA konnte nun eine solche Supernova beobachtet werden und nun kann möglicherweise dieses Phänomen geklärt werden.
- (20.12.13:) Sternlose Infrarot-Dunkelwolken liefert einen Ansatz wieso manche Sterne viel größer sind als andere.





# Resultate – neuste Entdeckungen

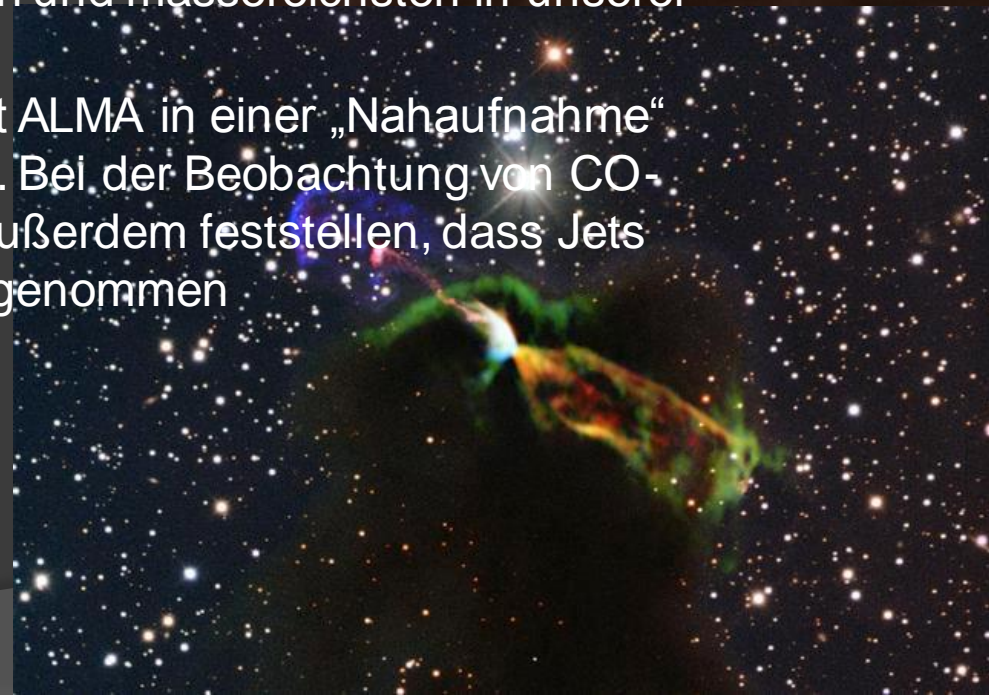
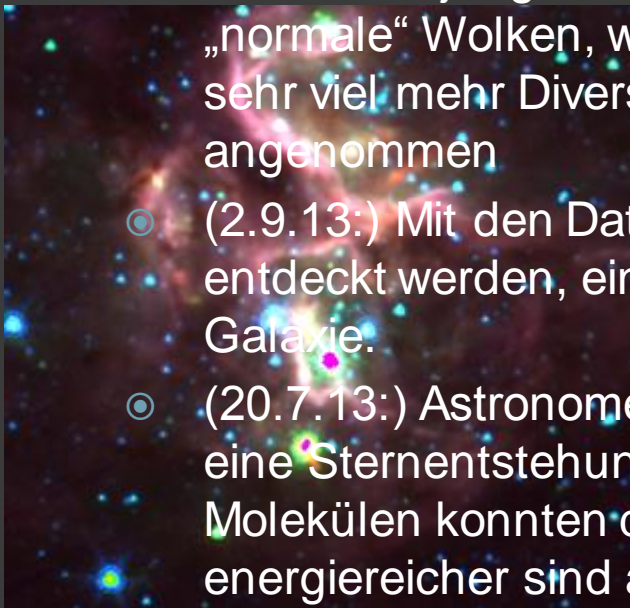
- (21.11.13:) Mithilfe von ALMA und des Hubble Space Telescope bekommen wir Einblick in ein frühes Tripelsystems primitiver Galaxien, 13 Milliarden Lichtjahre weit entfernt und aus der Epoche als das Universum gerade mal 800 Millionen Jahre alt war.
- (30.10.13:) ALMA enthüllt die „geisterförmige“ Gestalt des Bumerang-Nebels. Das ist ein sich rapide ausbreitender pre-planetärer Nebel in etwa 5000Lj Entfernung, der nach unserem Wissen nach kältesten Platz im Universum.
- (16.10.13:) ALMA wurde auf ein großes wenig aktives schwarzes Loch ausgerichtet und hat den bisher besten Blick auf molekulares Gas in seiner Nähe bekommen. Dabei bekamen die Forscher einen unerwartet guten Blick auf einen starken Jet in der direkten Nähe zum schwarzen Loch.





# Resultate – neueste Entdeckungen

- (7.10.13:) Mit ALMA wurde eine große heiße Molekülwolke um einen sehr jungen Stern entdeckt. Die Wolke ist zehnmal größer als „normale“ Wolken, was die Vermutung nach sich zieht, dass es sehr viel mehr Diversität in der Sternentstehung gibt als bislang angenommen
- (2.9.13:) Mit den Daten von ALMA konnte ein Klasse A-Protostern entdeckt werden, einer der hellsten und massereichsten in unserer Galaxie.
- (20.7.13:) Astronomen konnten mit ALMA in einer „Nahaufnahme“ eine Sternentstehung beobachten. Bei der Beobachtung von CO-Molekülen konnten die Forscher außerdem feststellen, dass Jets energiereicher sind als bislang angenommen



# Die Geschichte von ALMA

- 1997 initiierten die Europäische Südsternwarte (ESO) und das US-Amerikanische National Radio Astronomy Observatory (NRAO) ein gemeinsames Projekt, dass die früheren Projekte MMA und LSA kombinieren sollte.
- Das so erhaltene Interferometer sollte die Empfindlichkeit des LSA mit dem breiten Frequenzbereich des MMA vereinen.
- Am 25.02.2003 unterzeichneten die nordamerikanischen und europäischen Partner die ALMA-Vereinbarung. Am 14.09.2004 wurde Japan ein weiterer offizieller Partner, mit der Aufgabe, das ACA und Empfänger zu liefern. Aus politischen Gründen baute jedes Land seinen eigenen Antennentyp, aber alle entsprechen den Standards von ALMA.
- Heute besteht ALMA aus einer Zusammenarbeit zwischen Europa, Nordamerika und Ostasien. Die Arbeit wird finanziert von der ESO, der National Science Foundation (NSF) in den USA und entsprechenden Institutionen in Kanada, Japan und Taiwan. Die Konstruktion und der Betrieb werden für Europa von der ESO, für Nordamerika von der NRAO und für Ostasien vom NAOJ geleitet. Das Joint ALMA Observatory (JAO) vereint die Führung und Organisation der Konstruktion, Inbetriebnahme und den laufenden Betrieb von ALMA.
- Am 13. März 2013 wurde ALMA offiziell in Betrieb genommen



# Das Atacama Pathfinder Experiment (APEX)

- ist ein Radioteleskop mit 12 Meter Reflektordurchmesser in der chilenischen Atacamawüste
- wurde gemeinsam vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR), der Europäischen Südsternwarte (ESO) und dem schwedischen Onsala Space Observatory (OSO) errichtet
- steht in direkter Nähe von ALMA
- wurde am 25.9.2005 eingeweiht
- arbeitet bei 0,2 – 1,5 mm Wellenlänge
- Ist ein leicht veränderter Prototyp einer ALMA-Antenne
- Die wissenschaftlichen Schwerpunkte liegen auf der Erforschung von Sternentstehung und des Universums bei großer Rotverschiebung.



Bild links: APEX-Antenne 2004

Bild im Hintergrund: Wolken kosmischen Staubs im Orion



# Das Cerro Chajnantor Atacama Telescope (CCAT)

- liegt ca. 400m höher als ALMA
- Bau seit 2013, „first light“ 2017
- erforscht 0,03 bis 3 Millimeter Wellenlänge, auch Submillimeterwellen genannt
- mit 25m Größe zu diesem Zeitpunkt größtes Submillimeterteleskop der Welt
- mit 5612m Höhe ebenfalls höchstgelegenes Teleskop der Welt
- wird einen Blick in die Frühzeit des Universums vor etwa 10 bis 12 Milliarden Jahren ermöglichen und die Entstehung der ersten Galaxien beobachten
- Forscher erhoffen sich Erkenntnisse über die Entstehung von Galaxienhaufen sowie über Dunkle Materie und Dunkle Energie

Bild im Hintergrund:  
Computerrendering des  
CCAT-Domes





Vielen Dank

# Anhang: Abkürzungen erklärt

- ◎ MMA: Millimeter Array (USA)
- ◎ LSA: Large Southern Array (EU)
- ◎ LMA: Large Millimeter Array (JP)
- ◎ ESO: European Southern Observatory
- ◎ LOFAR: LOW Frequency ARray



# Bildquellen

- Logo ALMA: [http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama\\_Large\\_Millimeter\\_Array#cite\\_note-2](http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter_Array#cite_note-2)
- Luftaufnahme ALMA: [http://www.mpg.de/7026872/Gefriertruhe\\_des\\_Universums](http://www.mpg.de/7026872/Gefriertruhe_des_Universums)
- Bilder Flora & Fauna: <http://www.almaobservatory.org/en/visuals/images/flora-and-fauna>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Viscacha>
- Bild Teleskop ALMA: <http://arstechnica.com/science/2013/03/gravitational-lensingand-a-new-telescopereveal-ancient-starbursts/>
- Grafik: <http://www.almaobservatory.org/en/about-alma/how-does-alma-work>
- Rendering Antennenanordnung: [http://images.nrao.edu/images/alma\\_array2\\_med.jpg](http://images.nrao.edu/images/alma_array2_med.jpg)  
[http://almaobservatory.org/gallery2/main.php?g2\\_view=core.DownloadItem&g2\\_itemId=1547](http://almaobservatory.org/gallery2/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=1547)
- Atmosphäre: <http://www.scienceinschool.org/print/1220>
- Transporter: [http://images02.futurezone.at/ALMA\\_NRAO\\_padilla\\_08.jpg/fuzo-slideshow-slide/24.488.016](http://images02.futurezone.at/ALMA_NRAO_padilla_08.jpg/fuzo-slideshow-slide/24.488.016) <http://www.eso.org/public/archives/images/screen/eso0935b.jpg>
- ALMA unter Magellanschen Wolken: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Atacama\\_Large\\_Millimeter\\_Array\\_%28ALMA%29\\_by\\_night\\_under\\_the\\_Magellanic\\_Clouds.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Atacama_Large_Millimeter_Array_%28ALMA%29_by_night_under_the_Magellanic_Clouds.jpg)
- Das ACA Bild: [http://www.almaobservatory.org/en/visuals/images/?g2\\_itemId=4629](http://www.almaobservatory.org/en/visuals/images/?g2_itemId=4629)
- Das ACA Grafik: [http://www.almaobservatory.org/en/visuals/images/main.php?g2\\_itemId=4797](http://www.almaobservatory.org/en/visuals/images/main.php?g2_itemId=4797)
- Der Korrelator: [http://de.wikipedia.org/wiki/Atacama\\_Large\\_Millimeter/submillimeter\\_Array](http://de.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter/submillimeter_Array)
- Centaurus A (1): <http://www.space.com/16292-centaurus-a-galaxy-center-alma-photo.html>
- NGC 4038/39: [http://de.wikipedia.org/wiki/Atacama\\_Large\\_Millimeter/submillimeter\\_Array](http://de.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter/submillimeter_Array)
- Alle Bilder zu „Resultate“: <http://www.almaobservatory.org/en/press-room/press-releases>
- Centaurus A (2): <http://www.nrao.edu/pr/2012/almacena/>
- Wolken kosmischen Staubs im Orion: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Setting\\_the\\_Dark\\_on\\_Fire.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Setting_the_Dark_on_Fire.jpg)
- Rendering CCAT: <http://www3.uni-bonn.de/Pressemitteilungen/325-2011/hoechst-gelegenes-teleskop-der-erde/image>
- Hintergrund: <http://www.techhive.com/article/2030845/earths-largest-radio-telescope-is-officially-open-for-business.html>

# Textquellen

- Die offizielle ALMA-Website: <http://www.almaobservatory.org/>
- Die Seite der ESO: <http://www.eso.org/sci/facilities/alma.html>
- Wikipedia:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama\\_Large\\_Millimeter\\_Array](http://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Large_Millimeter_Array)
- Ein Artikel der FAZ, hier die Onlineversion:  
<http://www.seiten.faz-archiv.de/FAS/20130317/sd1201303173812317.html>
- Astronews.com: <http://astronews.com/index.html>



# Ende

Präsentation zur nichtkommerziellen  
Nutzung ohne Veränderung freigegeben

Vielen Dank an [Dr. Junkes](#) für seine  
Unterstützung