

# SOFIA - Das Infrarotauge über den Wolken



**PD Dr. Volker Ossenkopf-Okada**

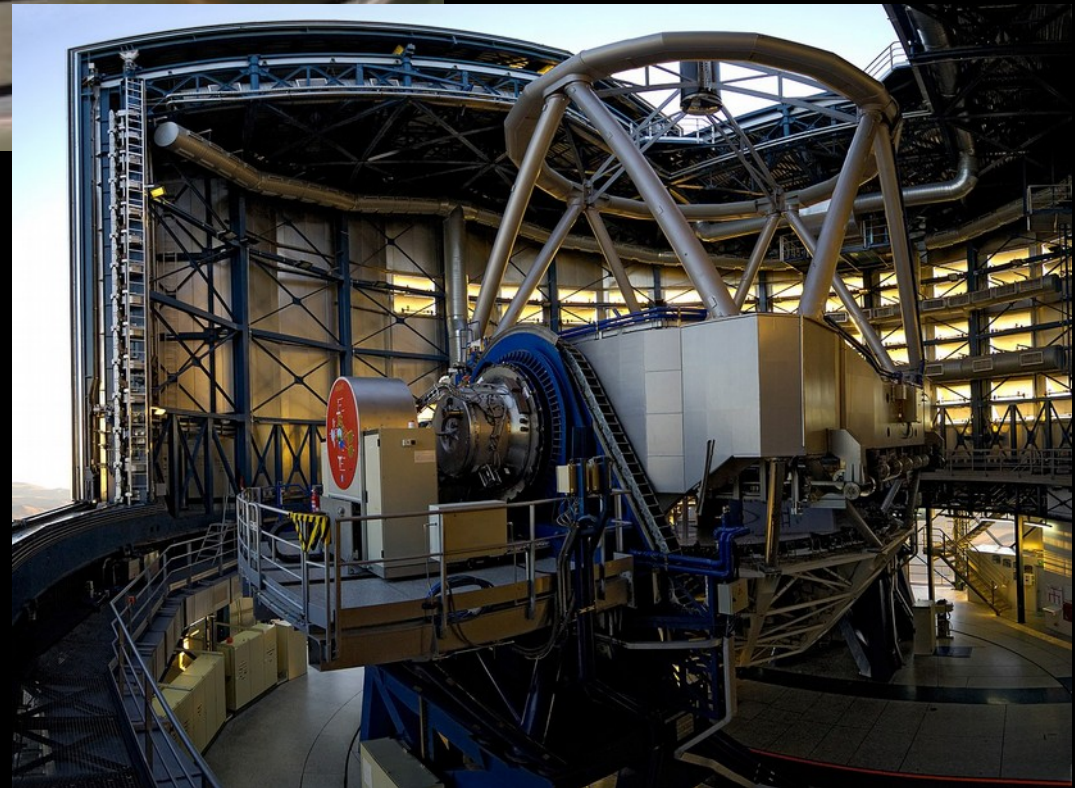
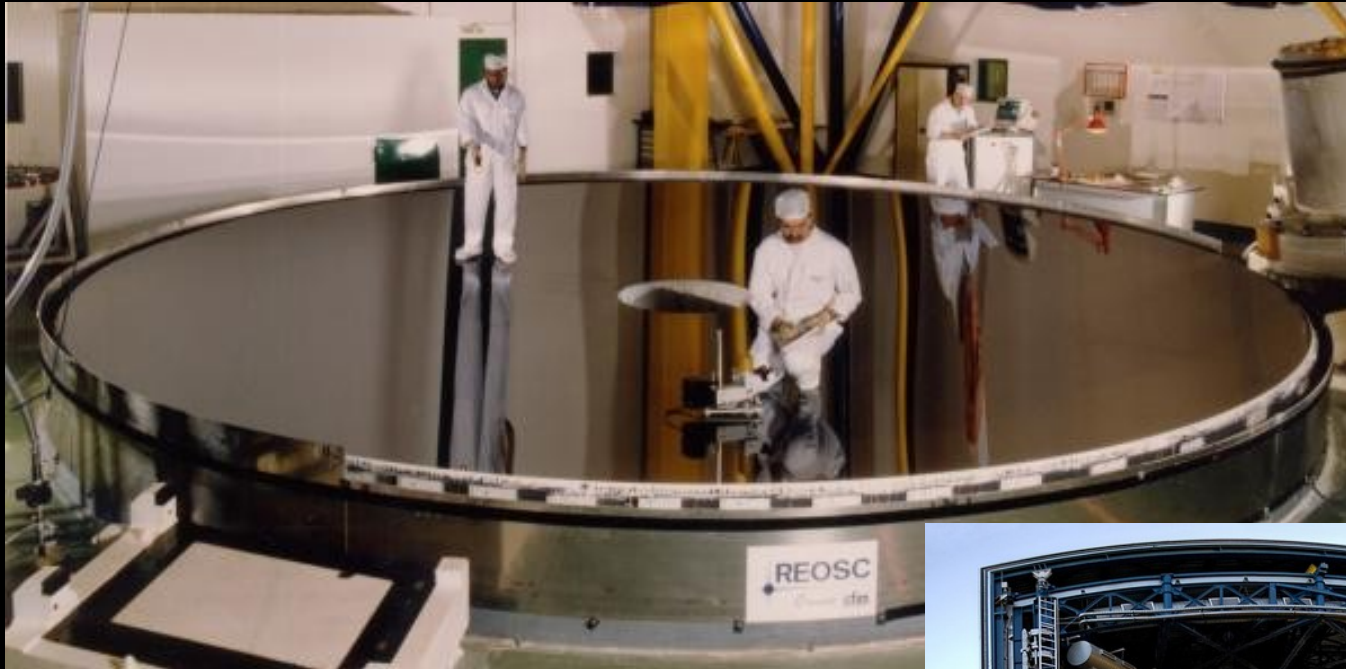
**Universität zu Köln**

# Wozu Teleskope?



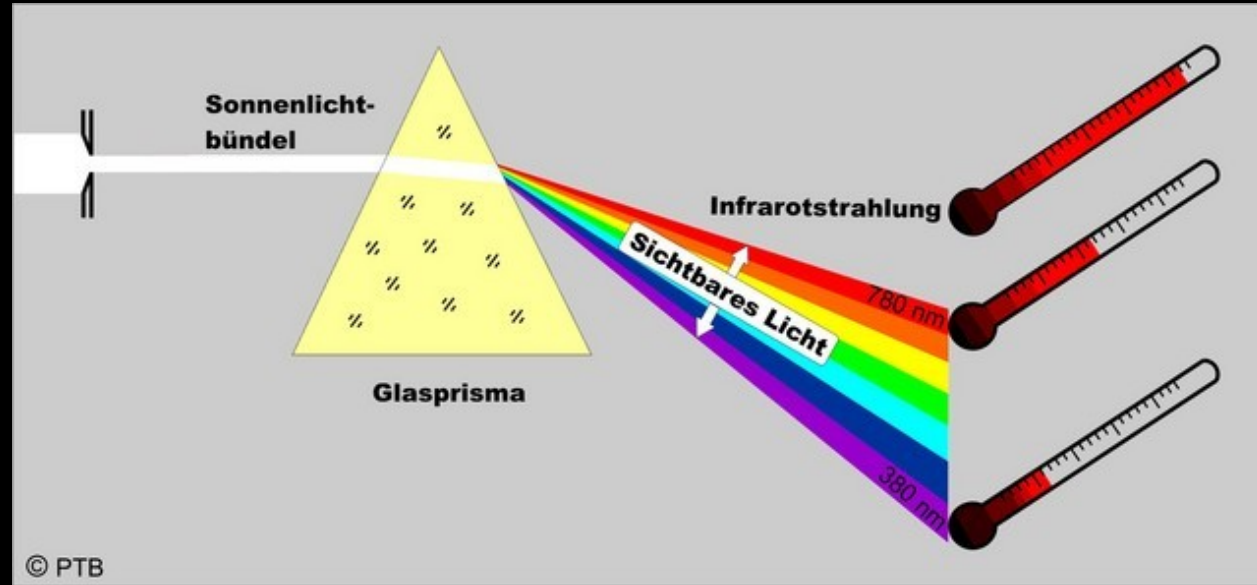


# Beste Teleskope heute: Große Parabolspiegel



Very Large Telescope (VLT),  
ESO, Cerro Paranal, Chile

# “Unsichtbares” Licht



Zufallsentdeckung:

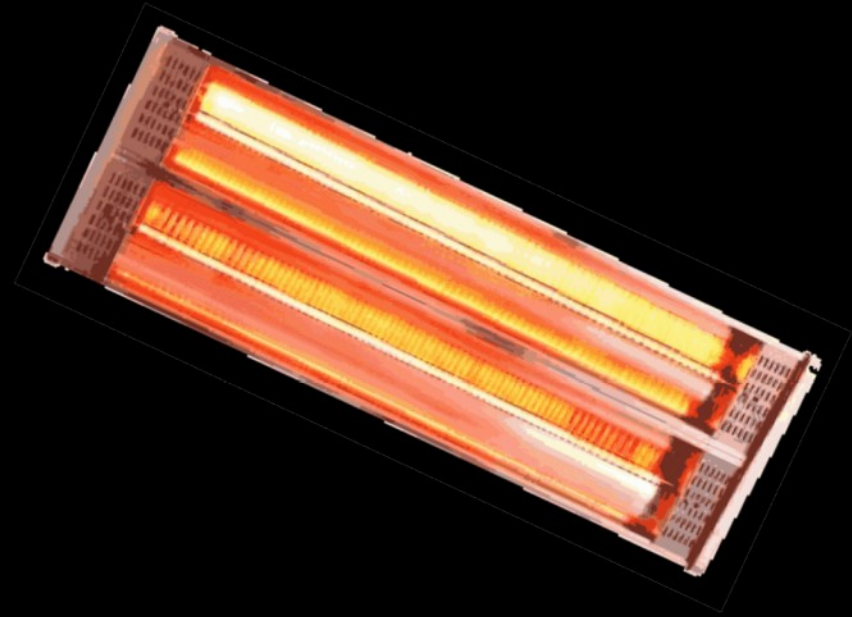
- Nicht sichtbare Wärmestrahlung
- Wellenlängen hinter dem Roten = Infrarot

Friedrich Wilhelm Herschel,  
englisch William Herschel, 1738-1822

# Infrarotlicht = Wärmestrahlung



Sichtbares Licht



Infrarotstrahlung

Auch Lichtwellen, aber für das Auge nicht sichtbar



# Die Spektralperspektive



Gamma



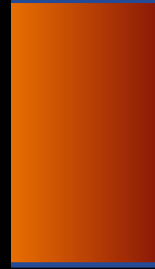
Röntgen



UV



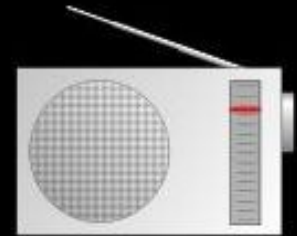
optisch



IR



Mikrowelle



Radio



Alles Lichtwellen aber mit verschiedener Wellenlänge





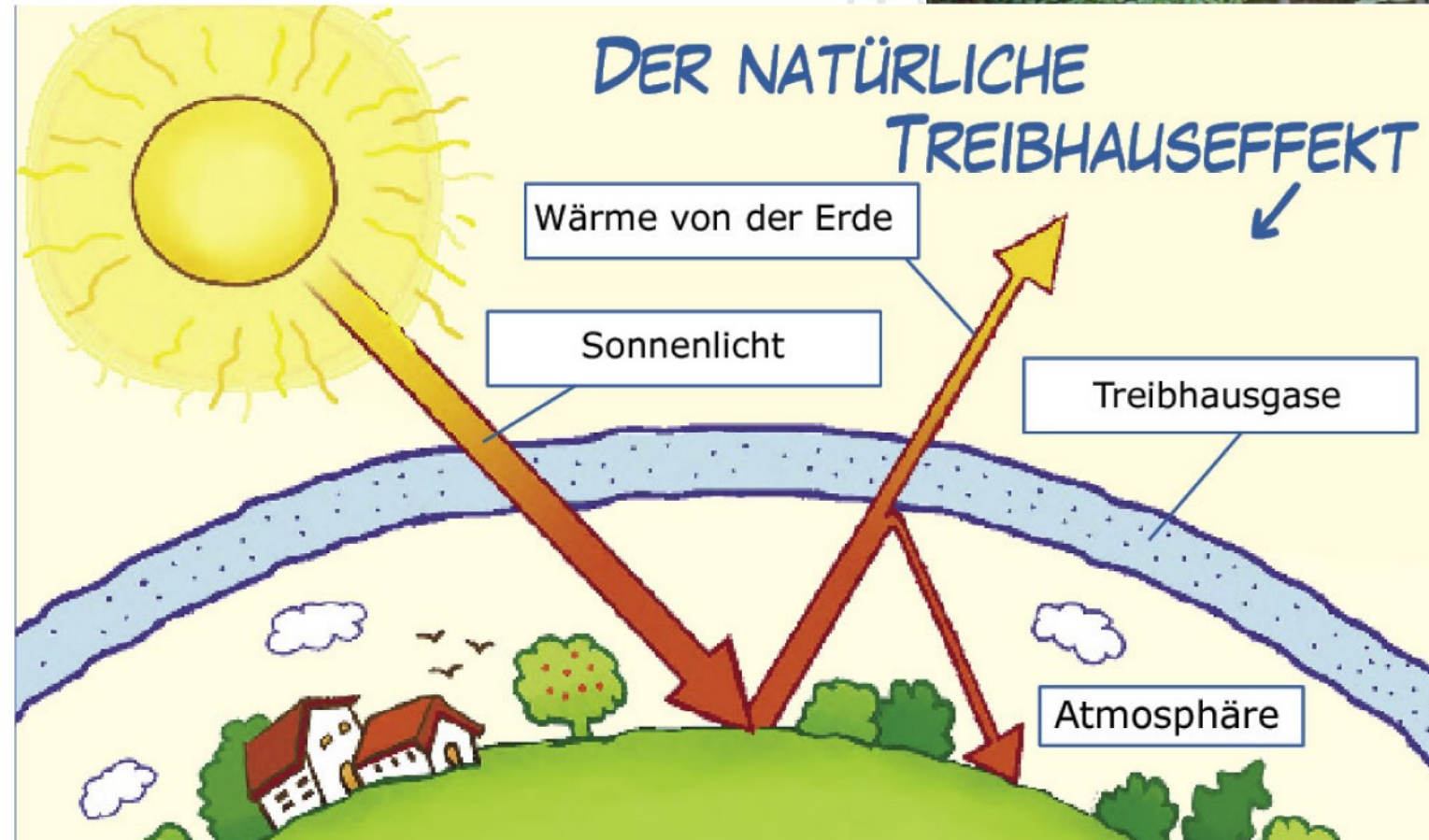
# Problem



# Problem



## DER NATÜRLICHE TREIBHAUSEFFEKT



Wichtigstes  
Treibhausgas:  
**Wasserdampf**

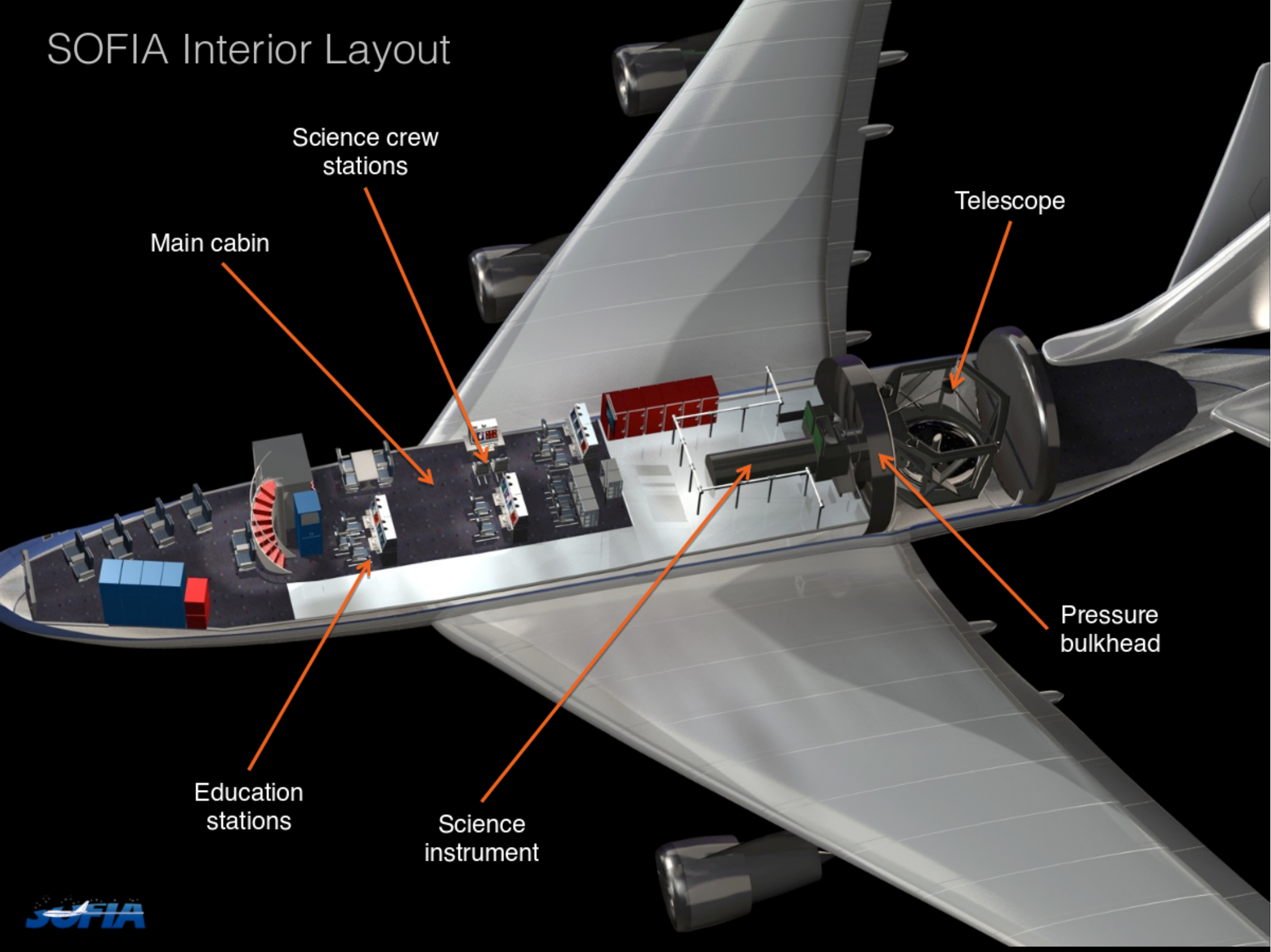
Zweitwichtigstes:  
**CO<sub>2</sub>**

# Lösung: Über den Wasserdampf hinaus



- **SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy)**
  - ◆ 14km Höhe

# SOFIA Interior Layout



Main cabin

Science crew  
stations

Telescope

Pressure  
bulkhead

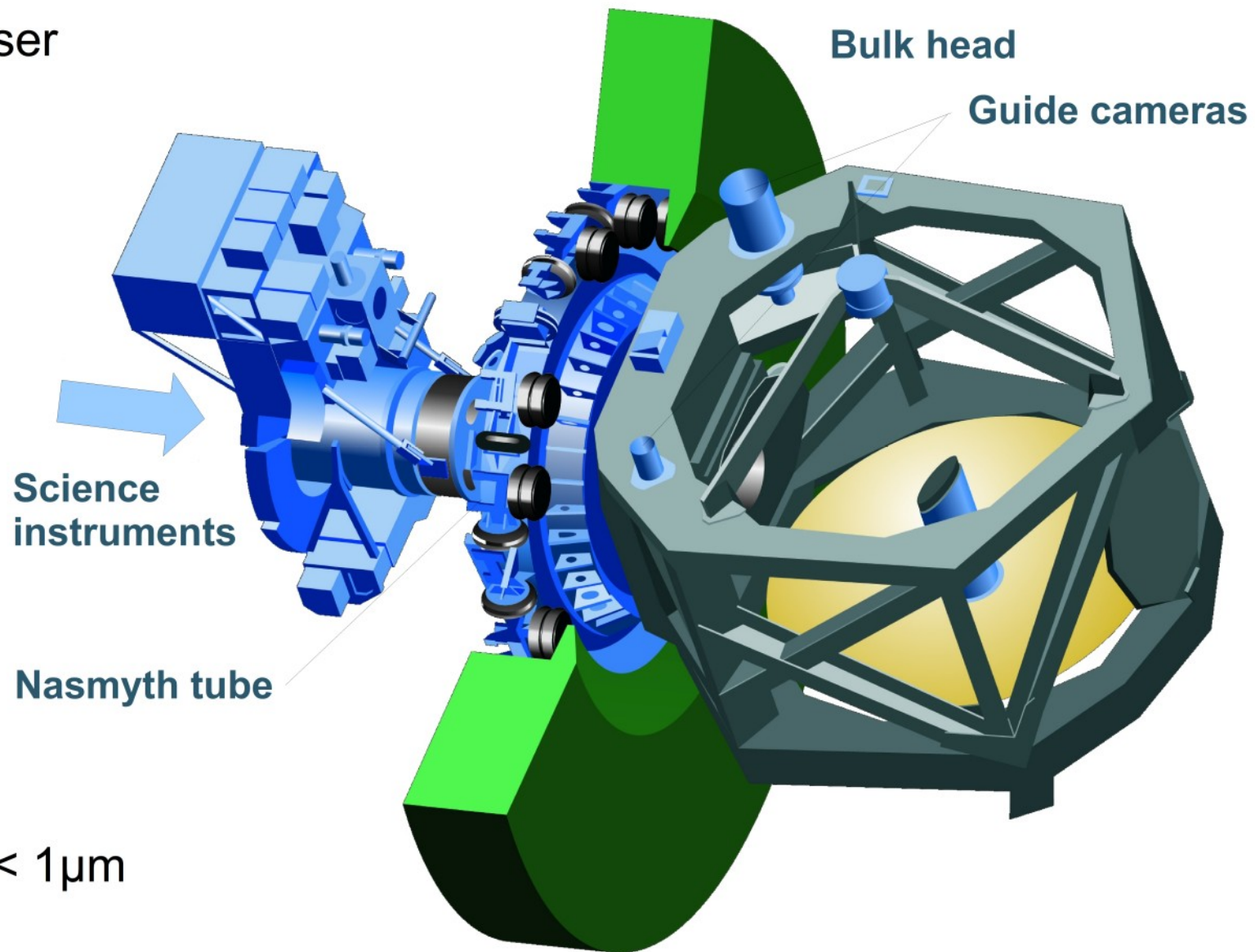
Education  
stations

Science  
instrument

Live ins Flugzeug

# Das Teleskop

- 2.7m Durchmesser



- ◆ Genauigkeit  $< 1\mu\text{m}$
- ◆ 17t
- ◆ Stabil auf  $1'' = \text{Erbse in 1km Entfernung}$

# Betrieb

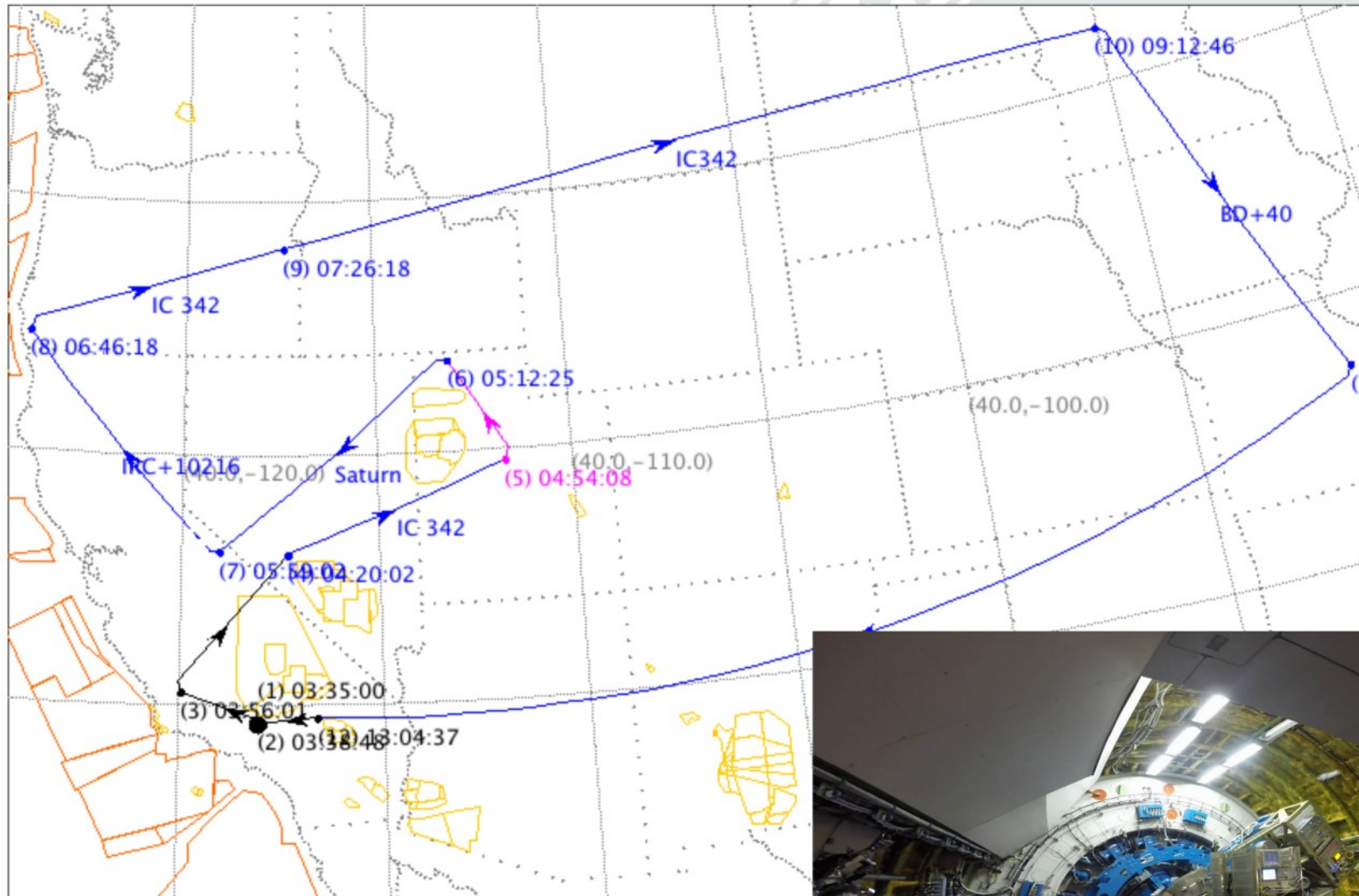
- **Gemeinsames US-Amerikanisch-Deutsches Projekt**
  - ◆ 80%-20% der Kosten und Beobachtungszeit
- **Flughöhe: 11-14km**
  - ◆ Über 99.8% des Wasserdampfes
  - ◆ Typisch 100 Flüge pro Jahr
- **Flexibel weltweit einsetzbar**
  - ◆ Typisch 10 Monate Palmdale (Kalifornien), 2 Monate von Christchurch (Neuseeland)



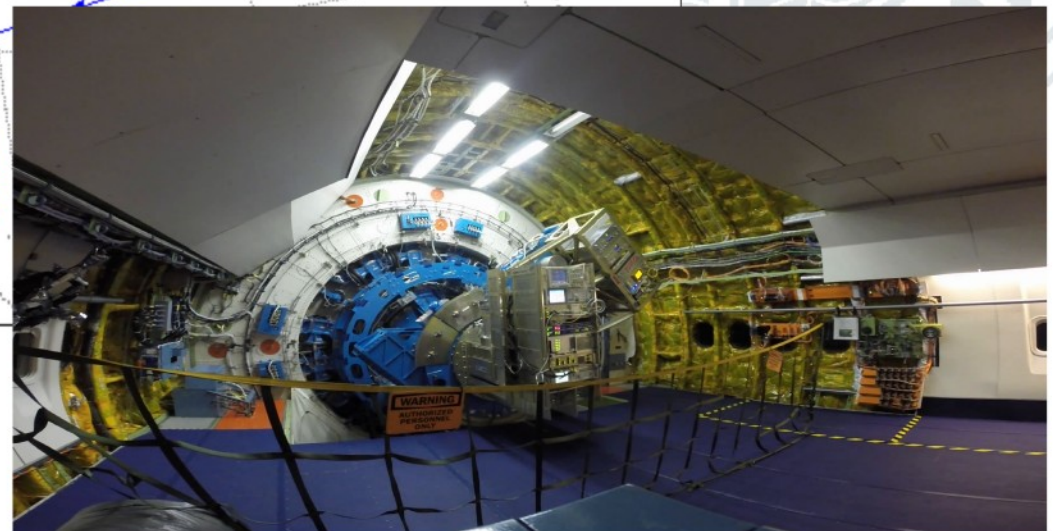
Armstrong Flight  
Research Center  
Dryden, Palmdale



# Wie wird beobachtet ?



Flight Plan Name: File: SS2\_01\_RVSM110325.fp  
Flight ID: 2011/04/06  
Est. Takeoff Time: 2011-Apr-06 03:35 UTC  
Est. Landing Time: 2011-Apr-06 13:15 UTC  
Flight Duration: 09:40  
Weather Forecast : 0000 Wed Mar 09 2011 - 1200 Fri Mar 11 2011 UTC  
Saved: 2011-Mar-25 18:41 UTC User: rklein



**Was leuchtet denn im Infrarotlicht?**

# Was leuchtet denn im Infrarotlicht?

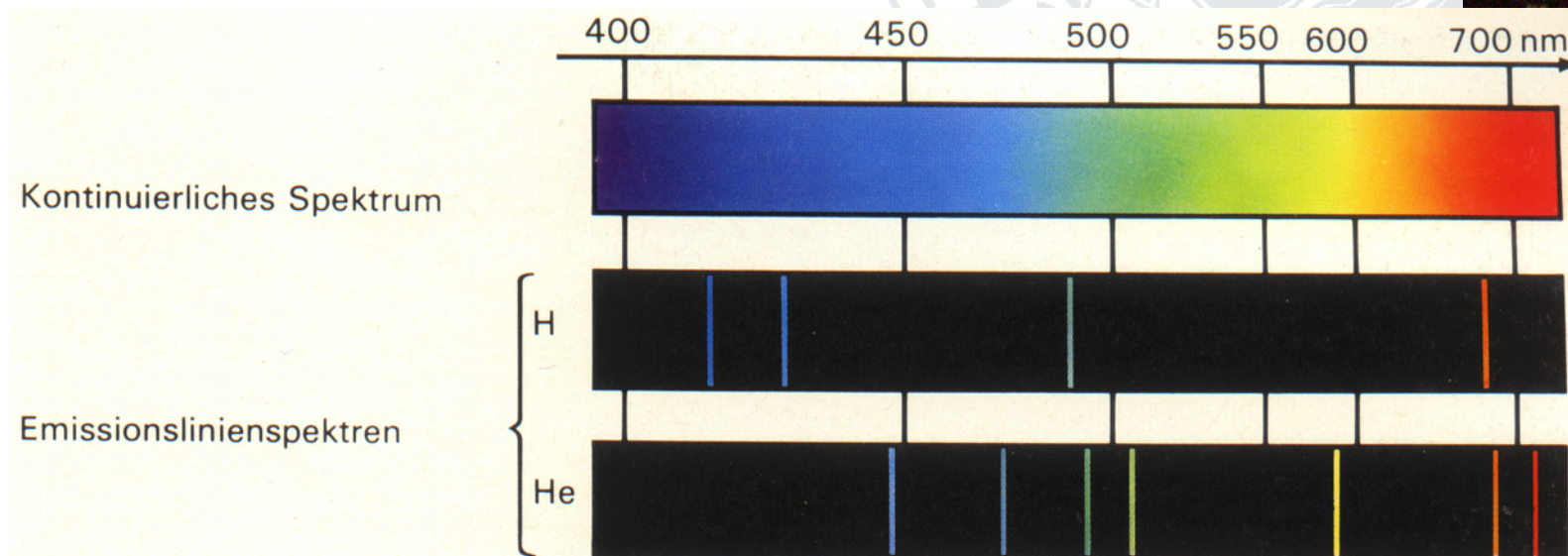


# Was strahlt im Infrarot?

- **Interstellares Gas**

- Gasatome und -moleküle strahlen nicht wie Festkörper, sondern wie Radiosender

→ Senden bei genau vorgegebenen Frequenzen



Spiritusflamme mit Linienspektrum: Emissionslinien bestimmen die Farbe der Flamme

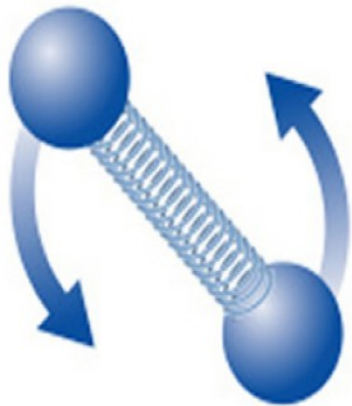
- Messung der Sendefrequenzen → **Zusammensetzung des Gases**

# Was strahlt im Fern-Infrarot?

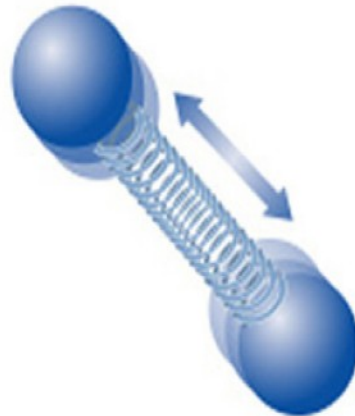
- **Interstellares Gas**

- Die Sendefrequenzen des kalten Gases werden durch die Rotation und Vibration der einzelnen Moleküle bestimmt

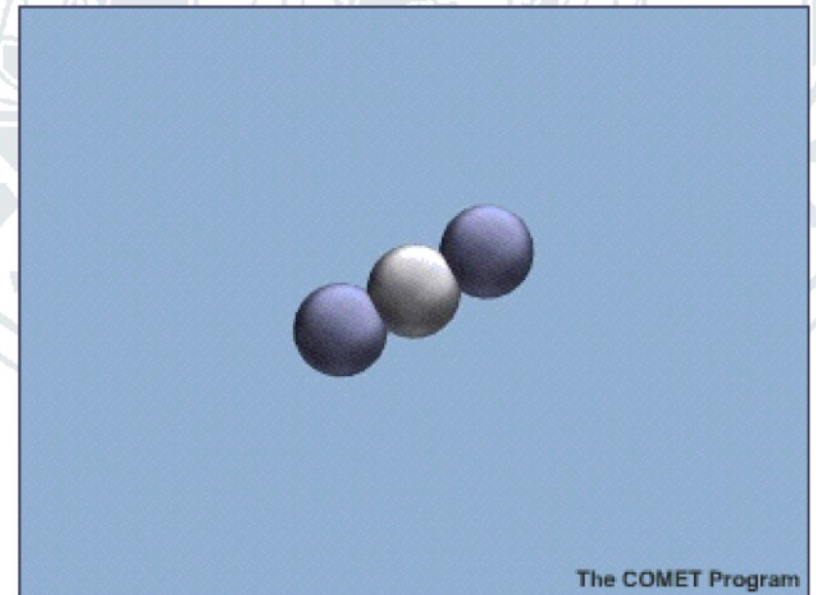
rotation



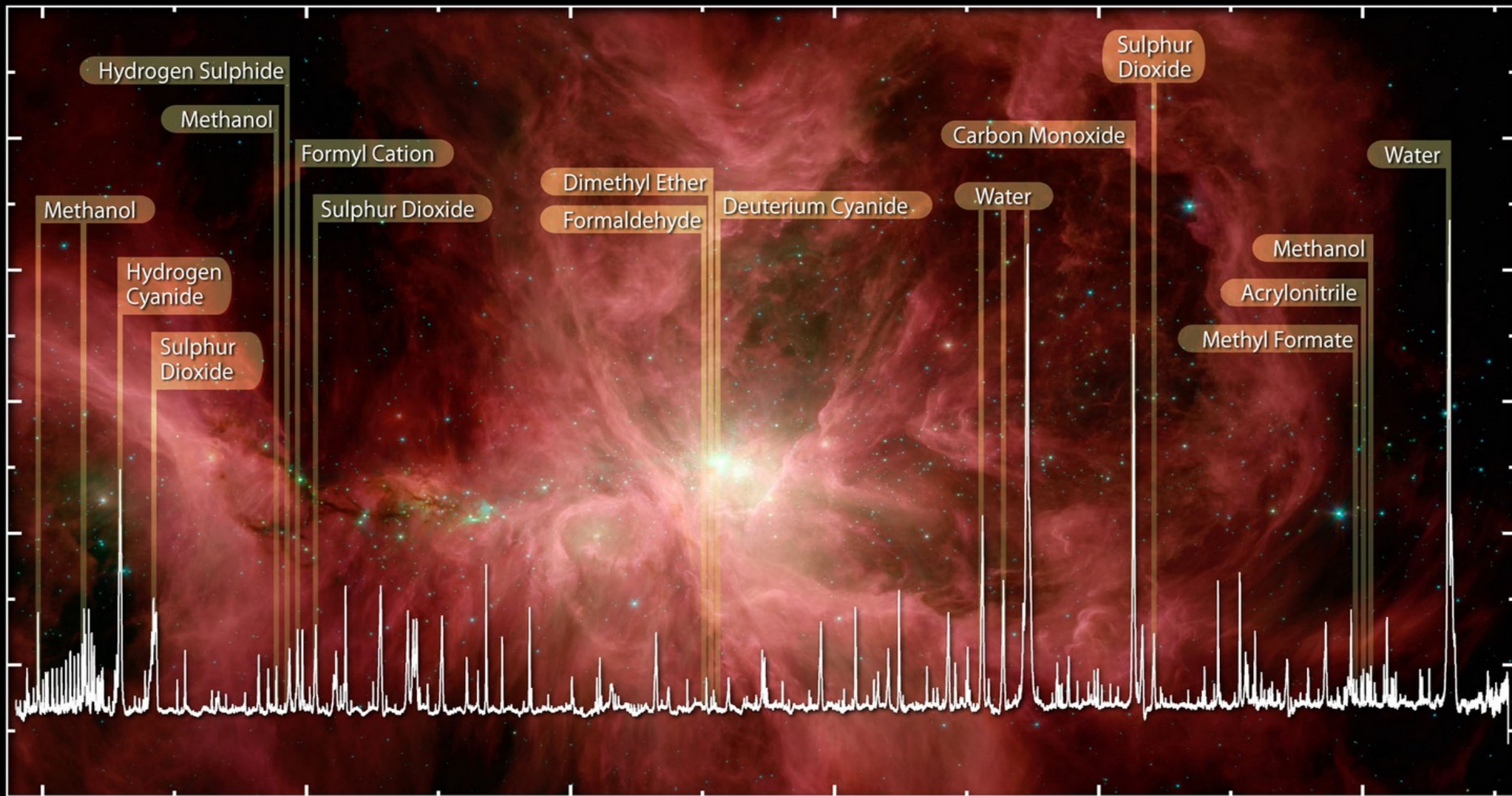
vibration



Vibrationsfrequenzen liegen im nahen Infrarot, Rotationsfrequenzen im fernen Infrarot



Vibration und Rotation können durch Stöße mit dem umgebenden Gas oder Absorption eines Photons mit der richtigen Frequenz angeregt werden.



HIFI Spectrum of Water and  
Organics in the Orion Nebula

© ESA, HEXOS and the HIFI consortium  
E. Bergin

# Sichtbares Licht - Infrarotstrahlung

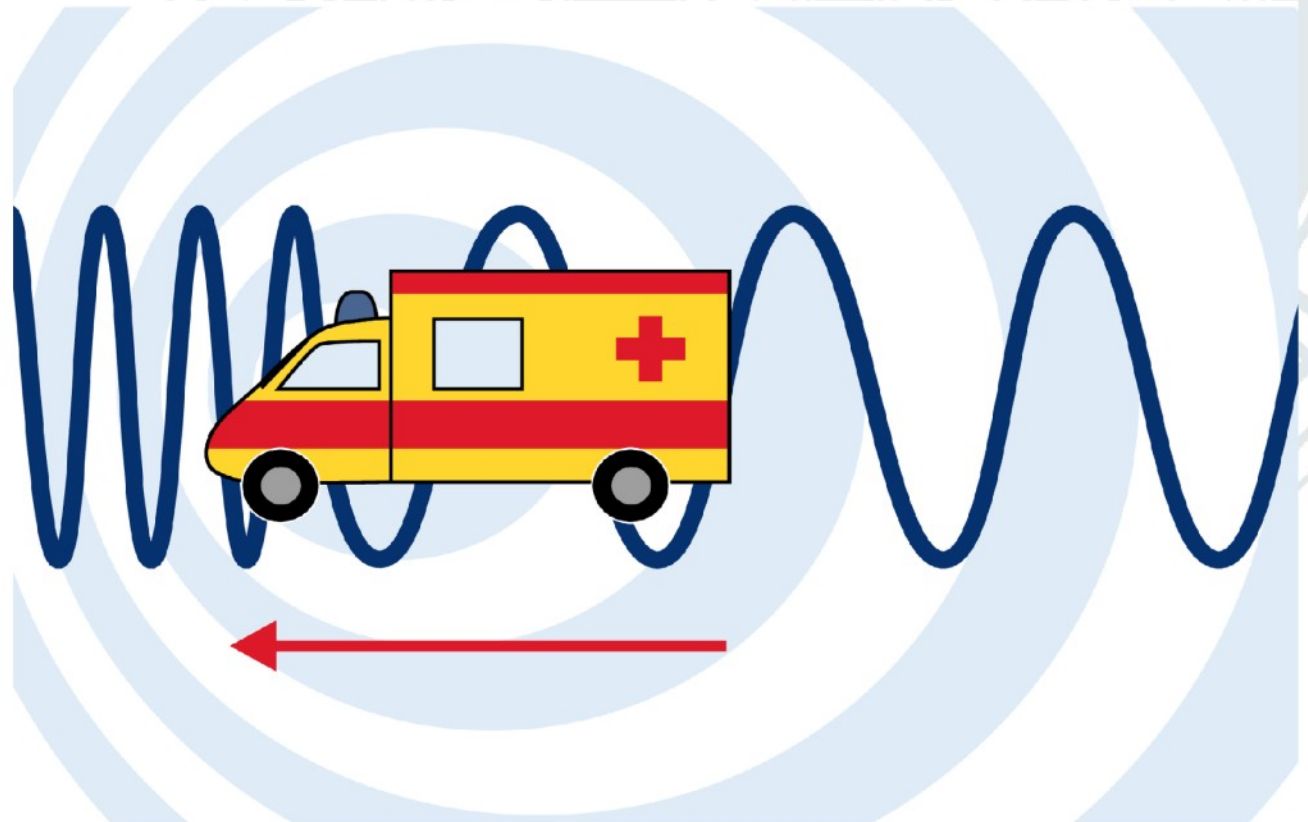


Galaxie Centaurus A

# Gas zur Geschwindigkeitsmessung

- **Doppler-Effekt**

- Beobachtete Frequenz ändert sich, wenn sich der Sender relativ zum Beobachter bewegt



→  
**Geschwindigkeits-  
messung**

CC SOME RIGHTS RESERVED  
Creative Commons BY-NC-ND

[www.weltderphysik.de](http://www.weltderphysik.de)



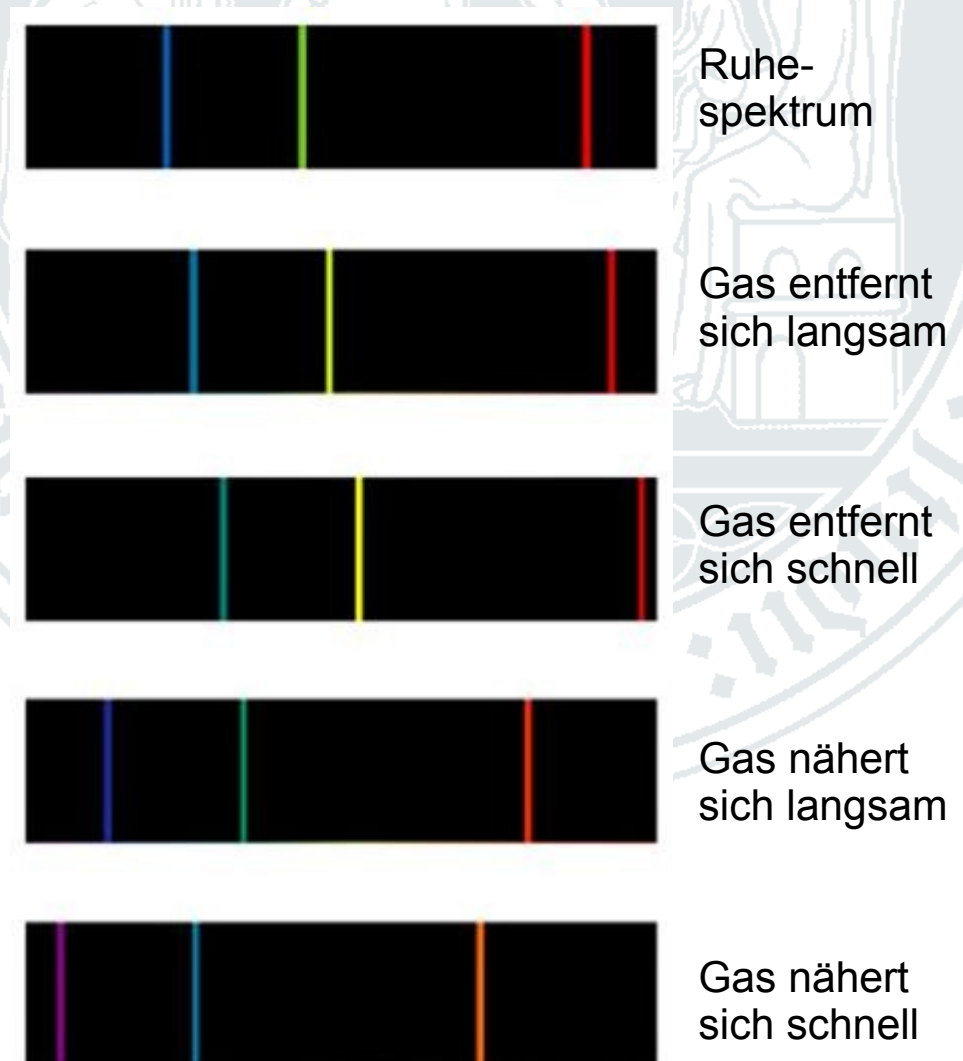
# Gas zur Geschwindigkeitsmessung

- **Nutzung des Doppler-Effektes**

- Bekannte Sendefrequenz der Moleküle

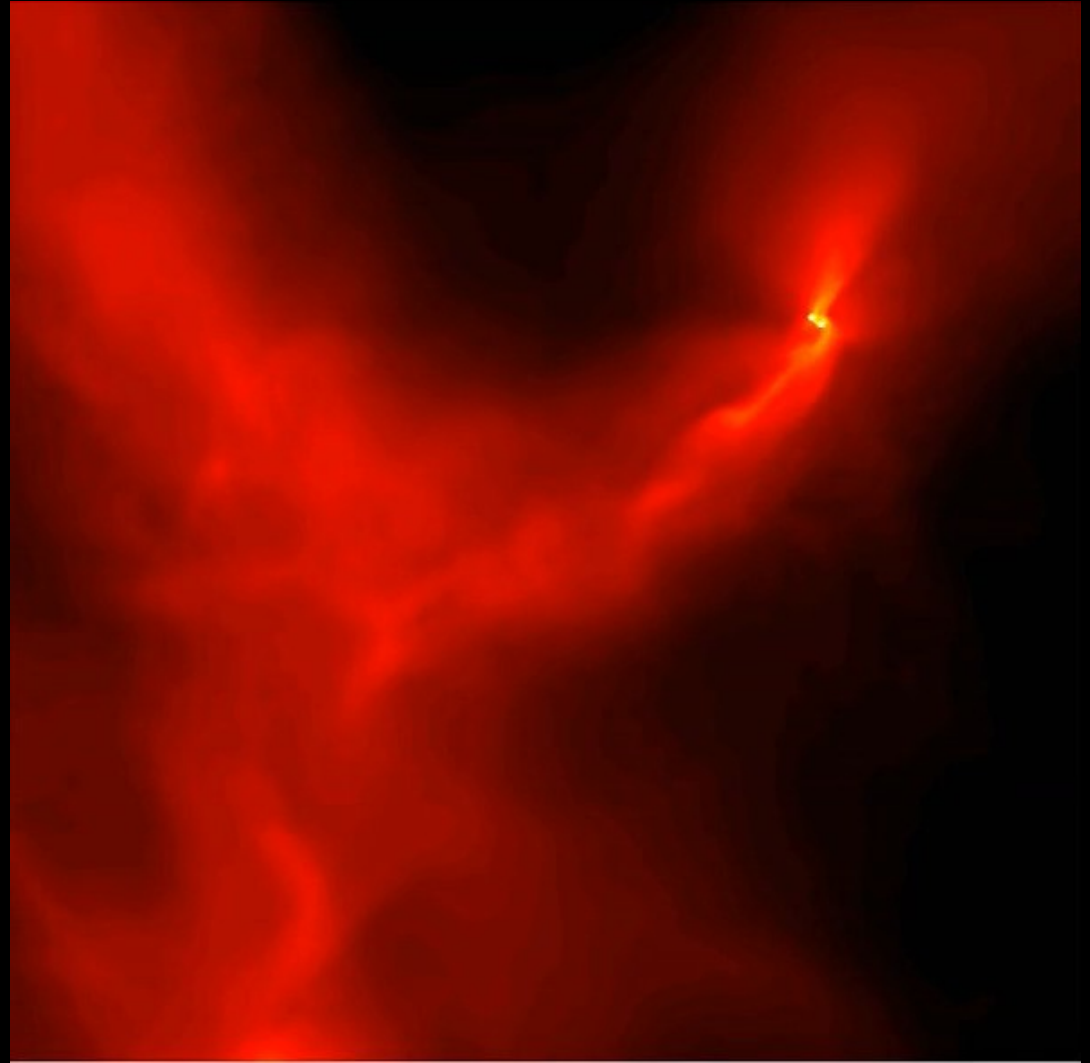
→ gemessene Frequenz  
→ Berechnung der Bewegung der Moleküle

→ Vorhersage des Schicksals der interstellaren Wolken



# Das Ziel

Beobachten, wie aus  
dem Gas neue Sterne  
entstehen



# Danke fürs Zuhören



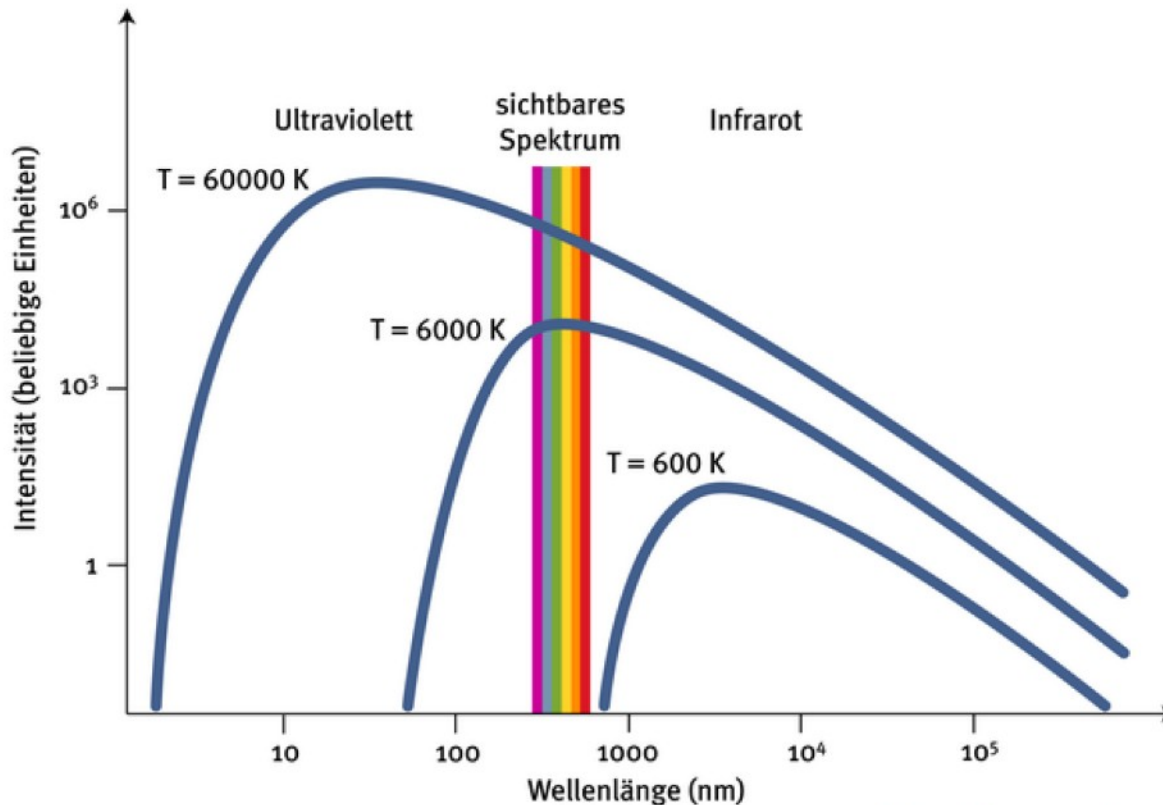
# Zusatzfolien



# Was strahlt im Infrarot?

- **Wiensches Verschiebungsgesetz:**
  - ◆ Zuordnung von Temperatur und Wellenlänge strahlender Körper

## Strahlung eines schwarzen Körpers



## Kalter Staub

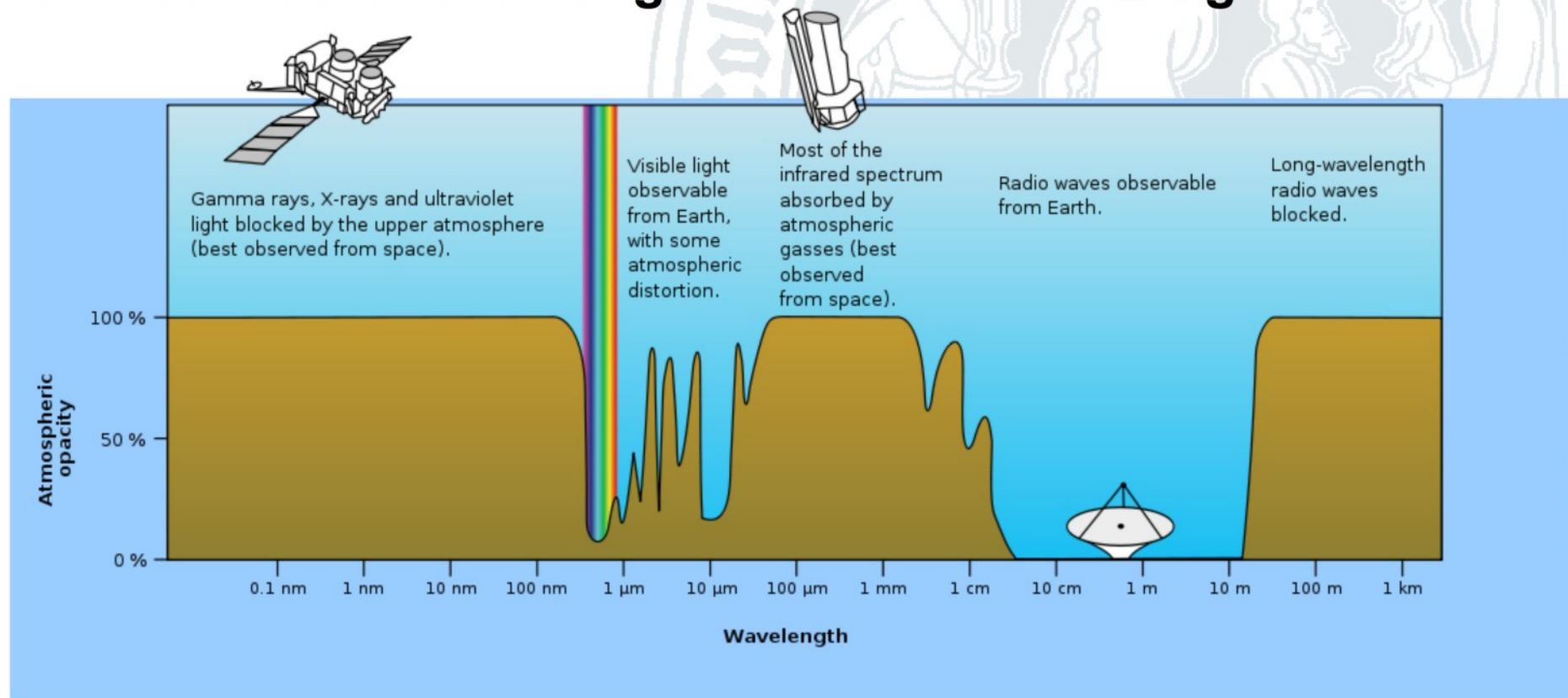
- **Temperatur:**  
 $10 \dots 100 \text{ K}$   
( $-260 \dots -170^\circ \text{C}$ )

<http://www.physast.uga.edu/~rls/1020/ch6/wein.swf>

[www.weltdersphysik.de](http://www.weltdersphysik.de)

# Astronomische Beobachtungen

- Atmosphäre ist nur für Wellenlängen  $\lambda$  zwischen  $0.4$  und  $2\mu\text{m}$  und bei Radiowellenlängen  $> 3\text{cm}$  durchsichtig

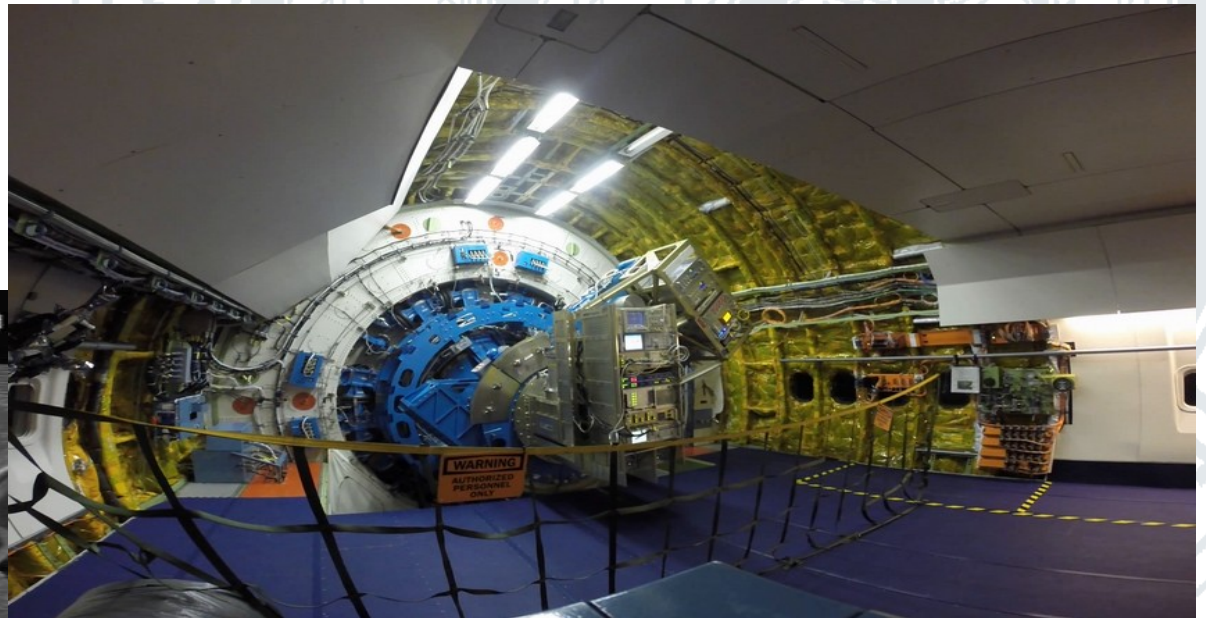
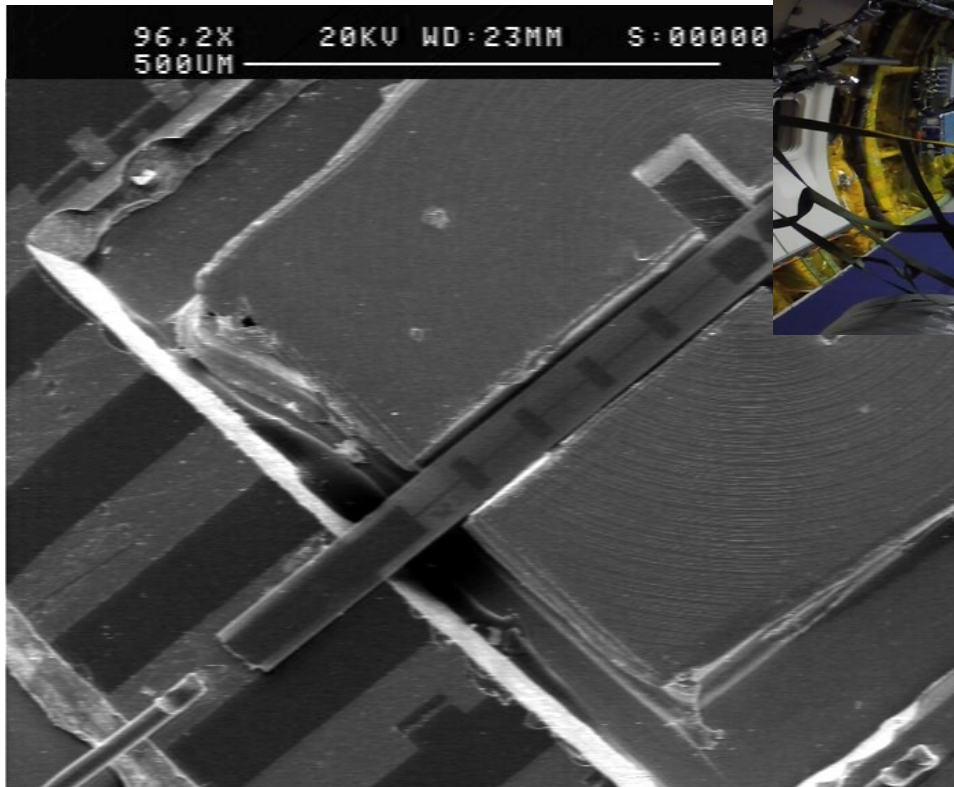


Bei einigen anderen Wellenlängen ist die Atmosphäre noch mäßig transparent → Beobachtungen von hohen Bergen möglich.

→ Alle anderen Wellenlängen können nur außerhalb der Atmosphäre beobachtet werden.

# Infrarotempfänger: GREAT

- German REceiver for Astronomy at THz-frequencies
  - Gebaut von MPIfR Bonn & Uni Köln



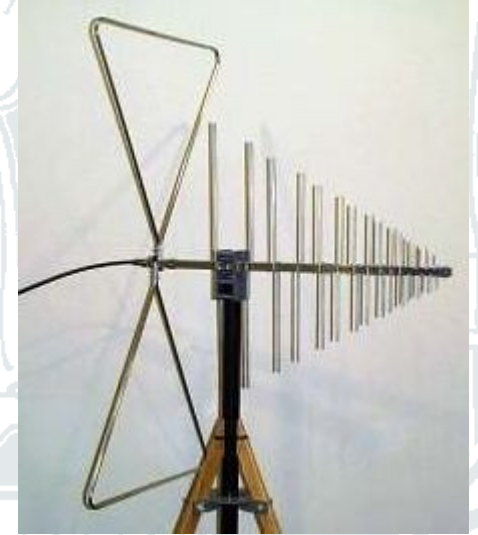
## Herz: supraleitende “Photodiode”

- Braucht Temperaturen von 3 K ( $< -270^{\circ}\text{C}$ )
- Strukturgrößen  $< 2\mu\text{m}$

# Radioempfänger für fernes Infrarot

- **3 Probleme**

- Antennengröße wie die Wellenlänge:
  - $< 100\mu\text{m}$
- Empfänger muss extrem kalt sein:
  - $< 10\text{K}$  ( $-260^\circ\text{C}$ )
- Empfangene Frequenz lässt sich nicht direkt verstärken:
  - THz statt 100 MHz

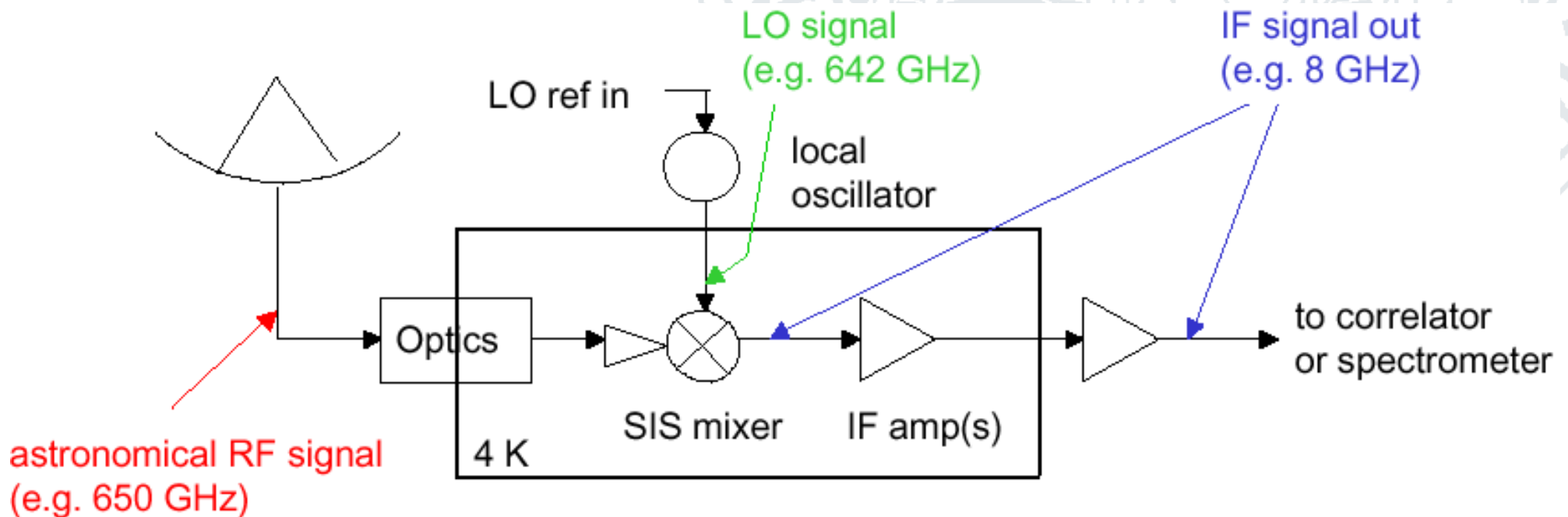




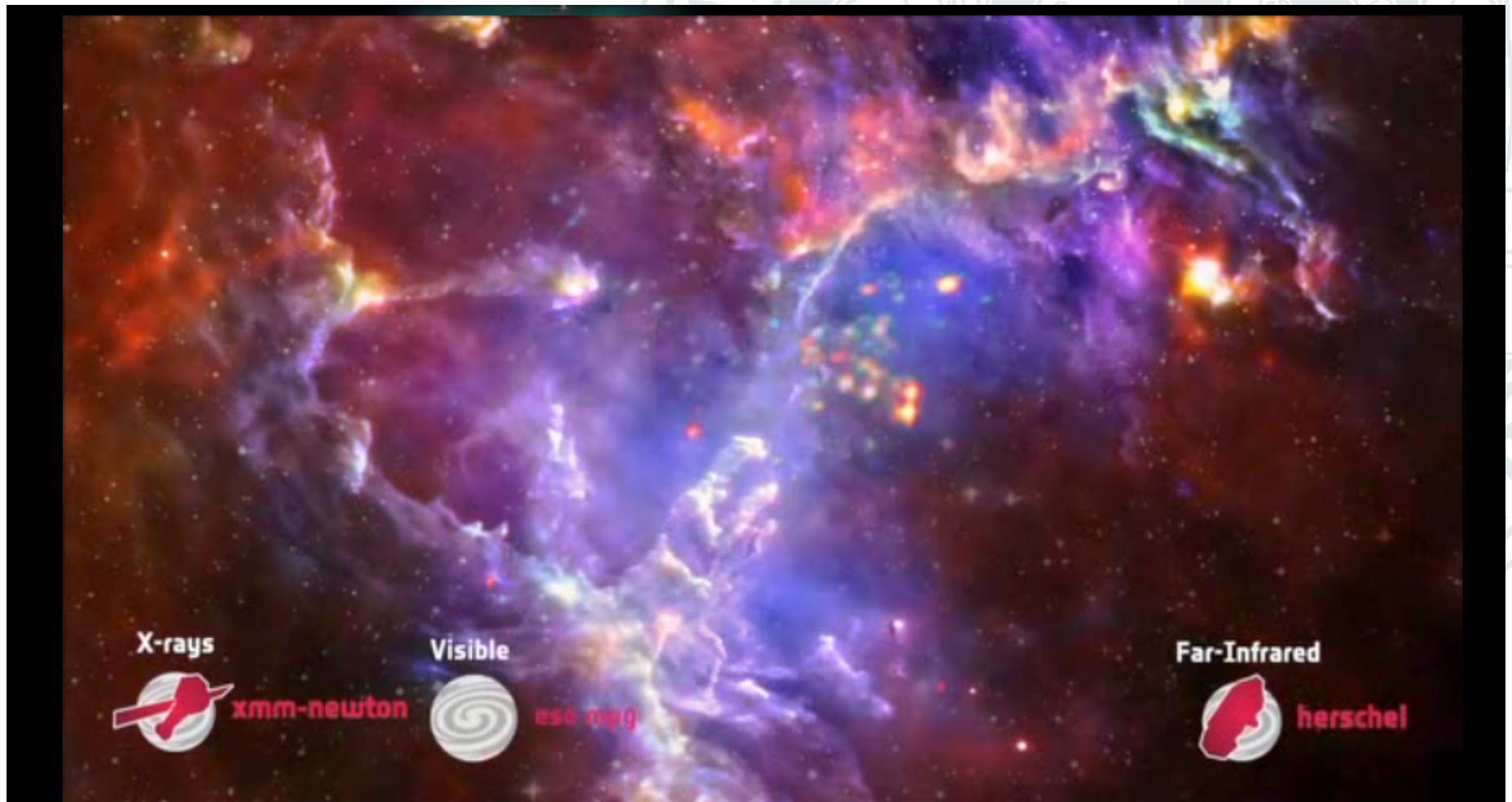
# Lösung für Verstärkerproblem

- **Heterodynprinzip**

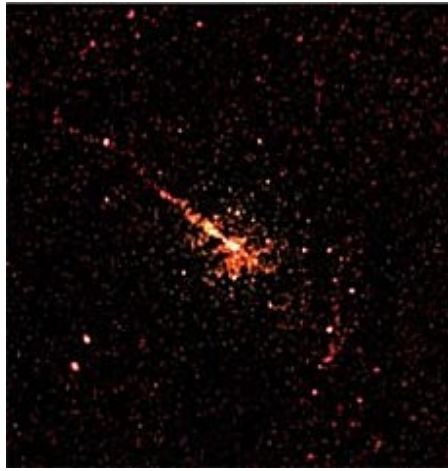
- Kombination mit bekanntem Signal
- Verstärkung der Differenzfrequenz



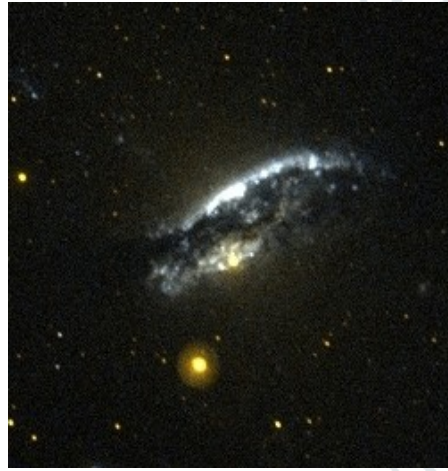
# Sternentstehungsregion M16



# Centaurus A



Röntgen



Ultraviolett



Sichtb.: s/w



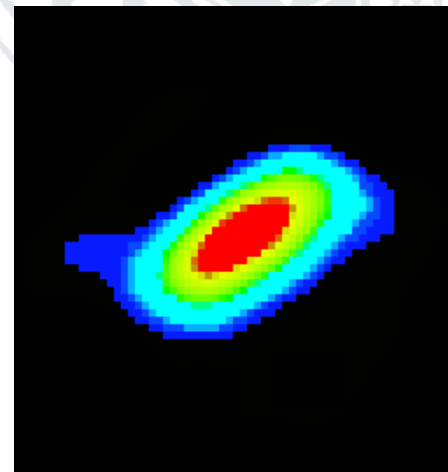
Sichtb.: farbig



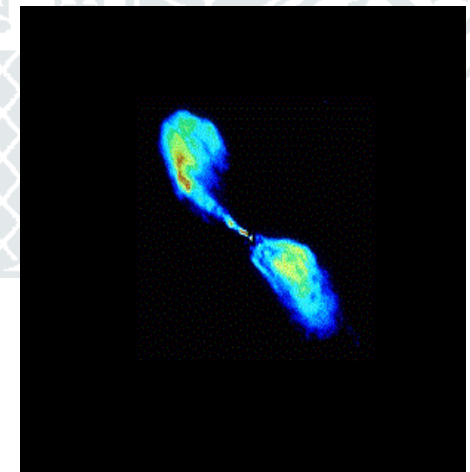
nahes IR



mittleres IR



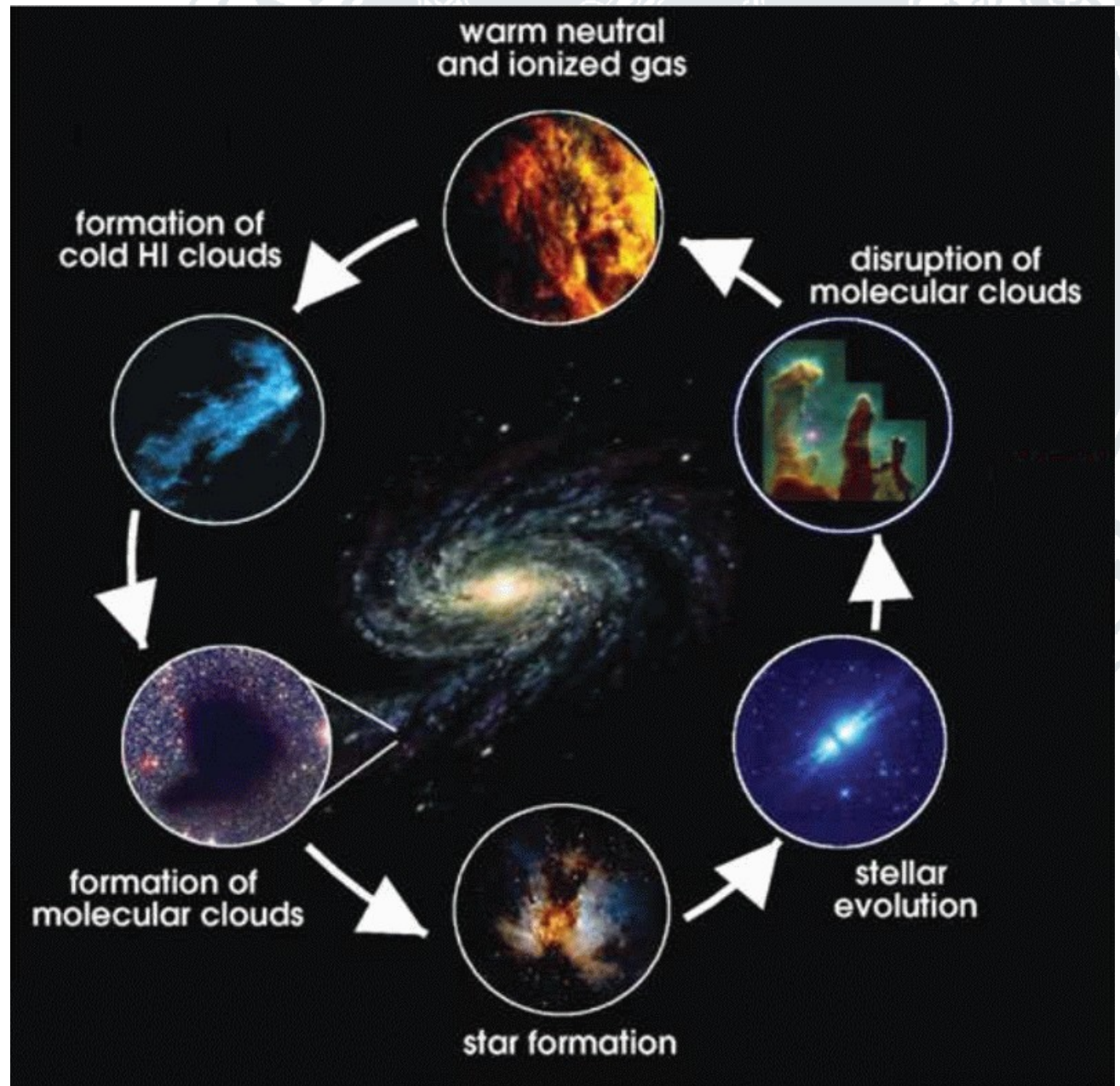
fernes IR



Radio

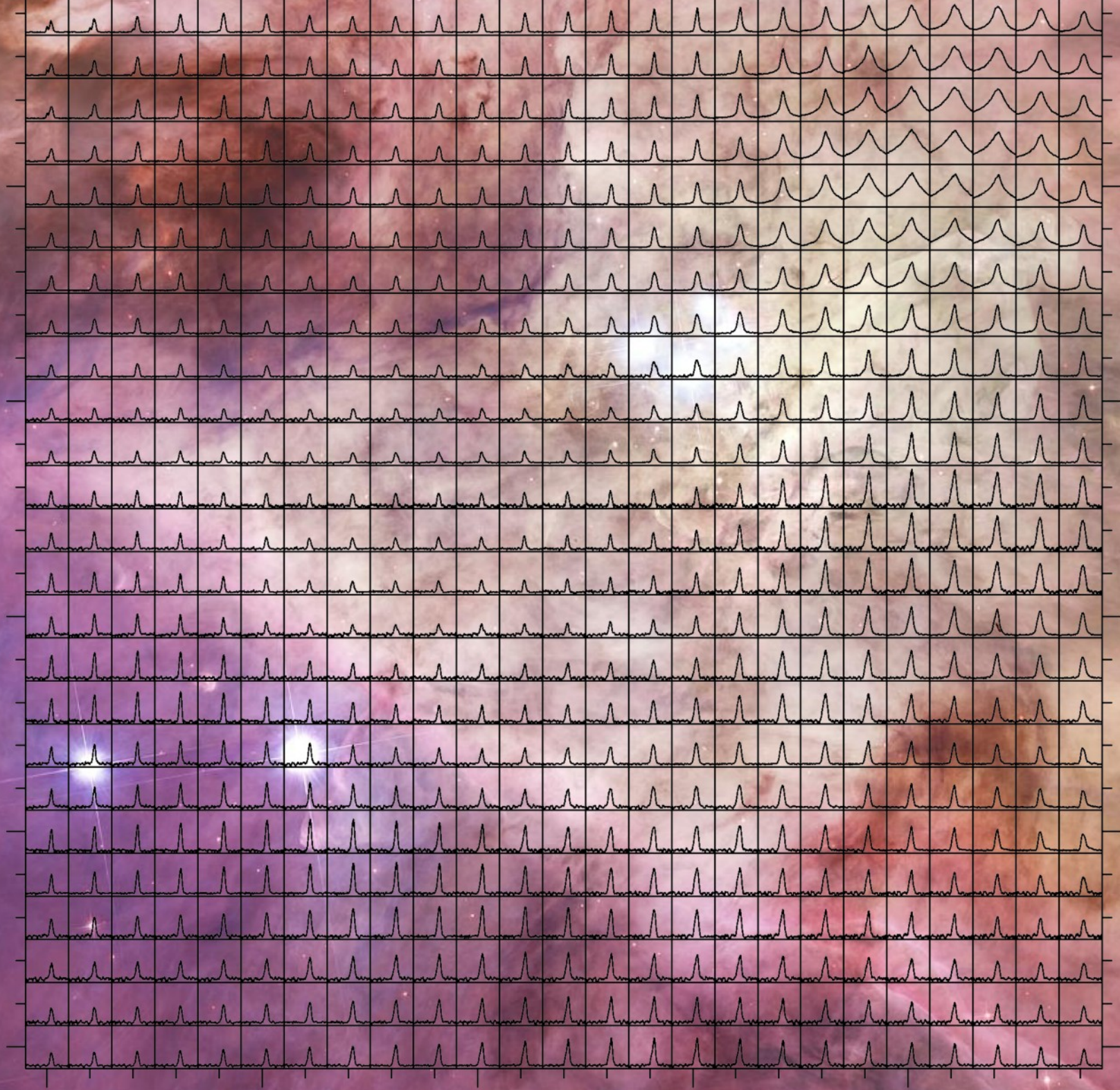
# Was wollen wir wissen?

- Der kosmische Kreislauf



Nach Kulesa et al. (2013)





Danke an



The GREAT + SOFIA Teams