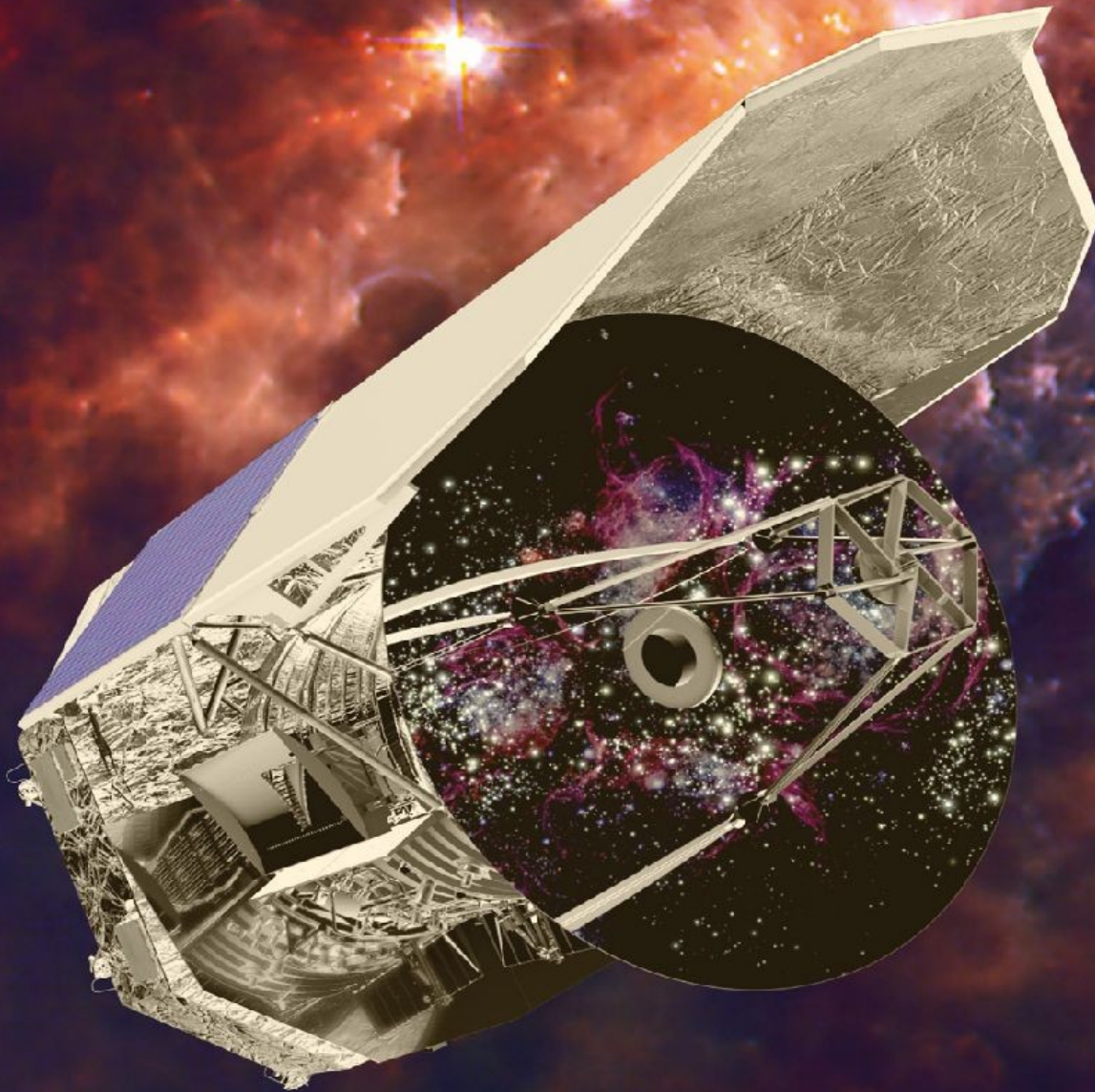
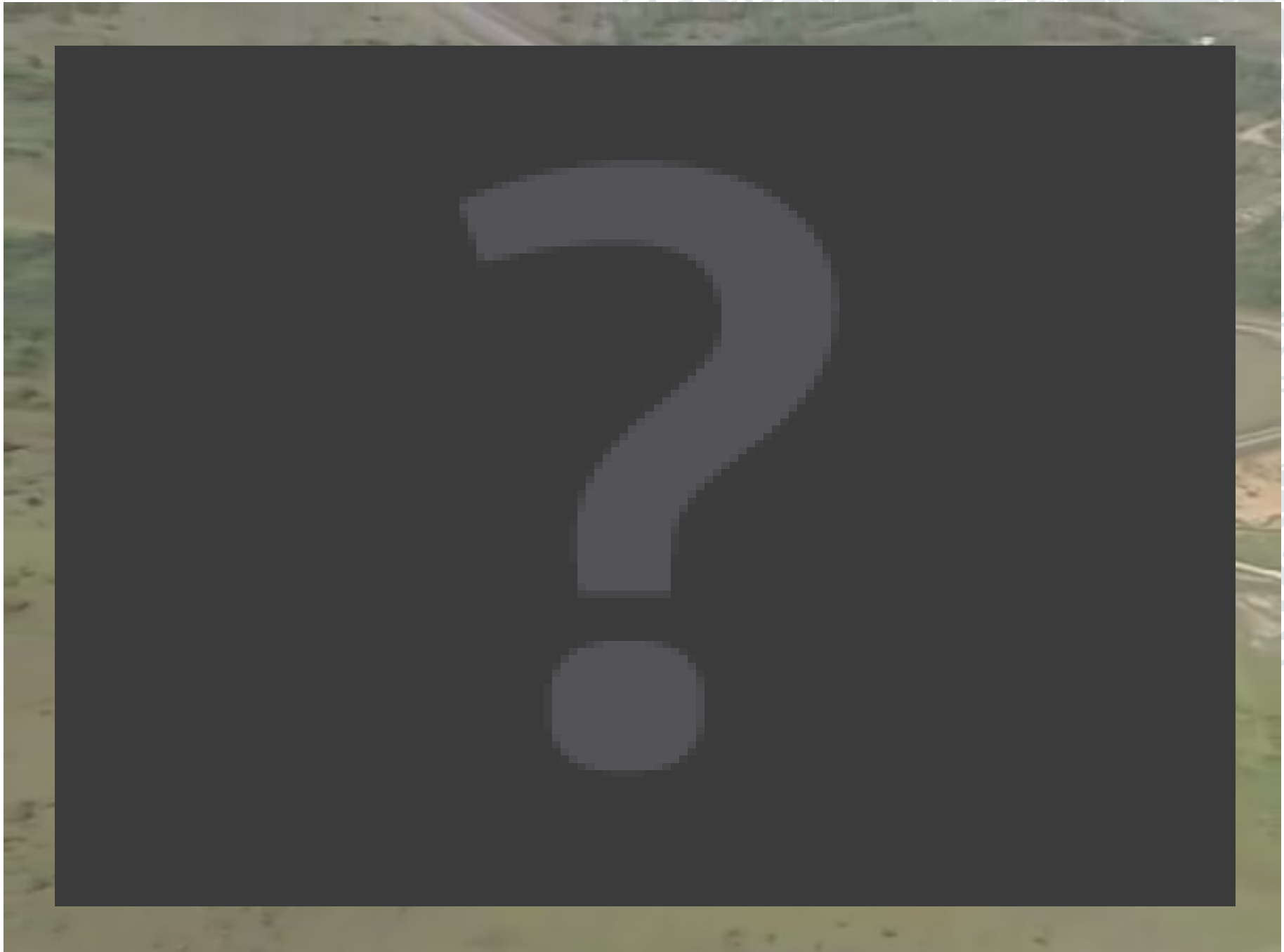


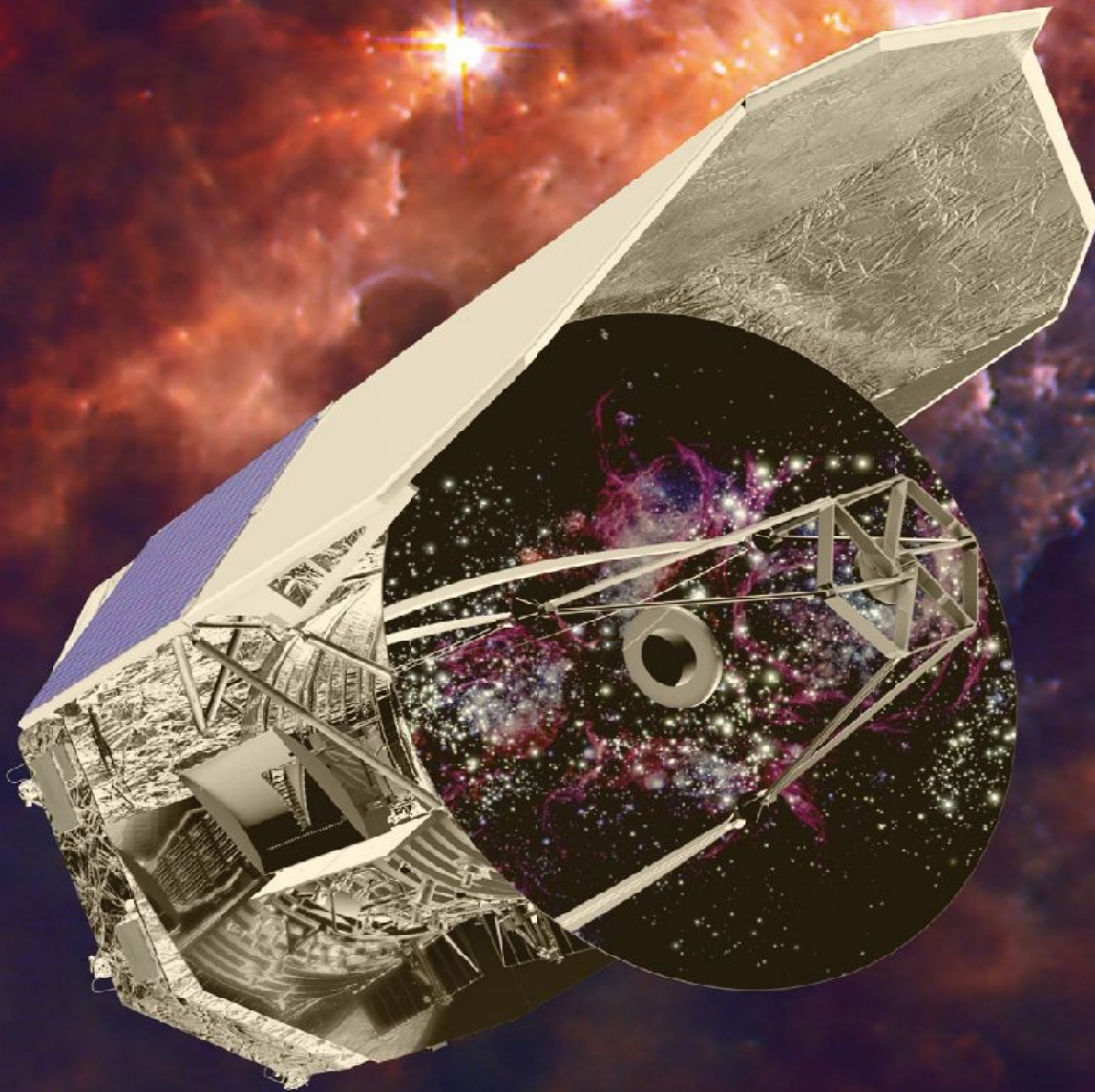
Herschel im Weltraum: Kölner Beiträge zum Weltraumteleskop



19. Mai 2009



Herschel im Weltraum: Kölner Beiträge zum Weltraumteleskop



Übersicht

- **William Herschel und die Infrarotstrahlung**
- **IRAS und das interstellare Medium**
- **Interstellares Gas: Bewegliche Radiostationen im Weltall**
- **Die Kölner Empfangstechnik**
- **Das Herschel-Weltraumteleskop**
- **Mühsam ist alle Beobachtung**
- **Die Belohnungen**



Friedrich Wilhelm Herschel / William Herschel



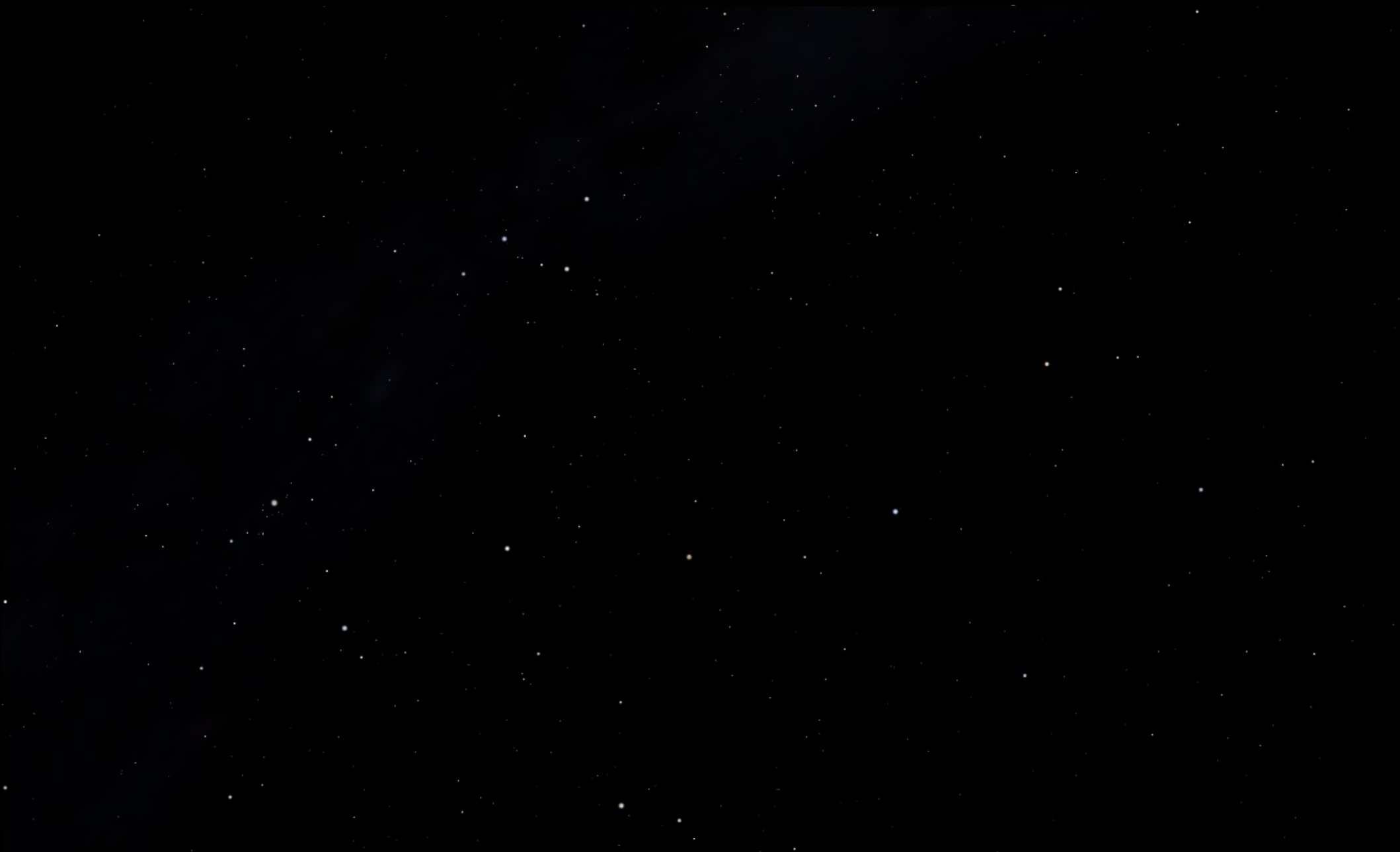
- 1738-1822
- Astronom und Musiker
- Bau großer Spiegelteleskope
- Entdeckung des Uranus



Optische Teleskope heute



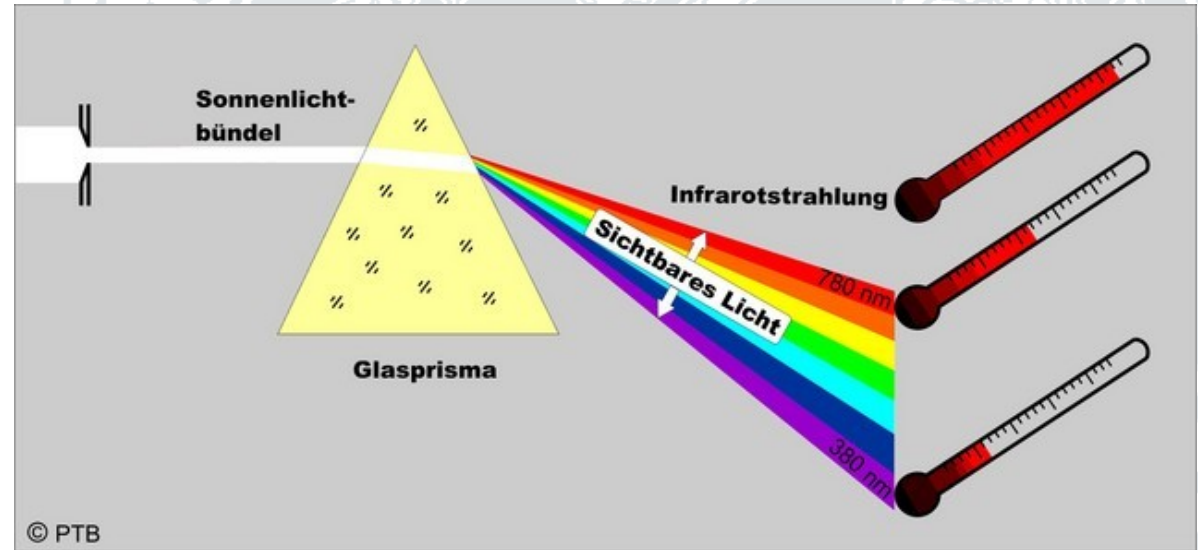
Optische Teleskope



Optische Teleskope



Das “andere” Licht: Die Spektralperspektive



Zufallsentdeckung:

- Nicht sichtbare Wärmestrahlung
- Wellenlängen jenseits des Roten

- Friedrich Wilhelm Herschel
- Entdeckung der **Infrarotstrahlung** 1800

Die Spektralperspektive



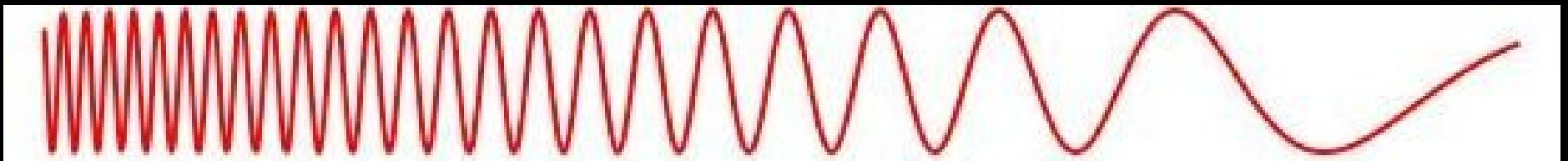
Ultraviolettes Licht



Sichtbares Licht

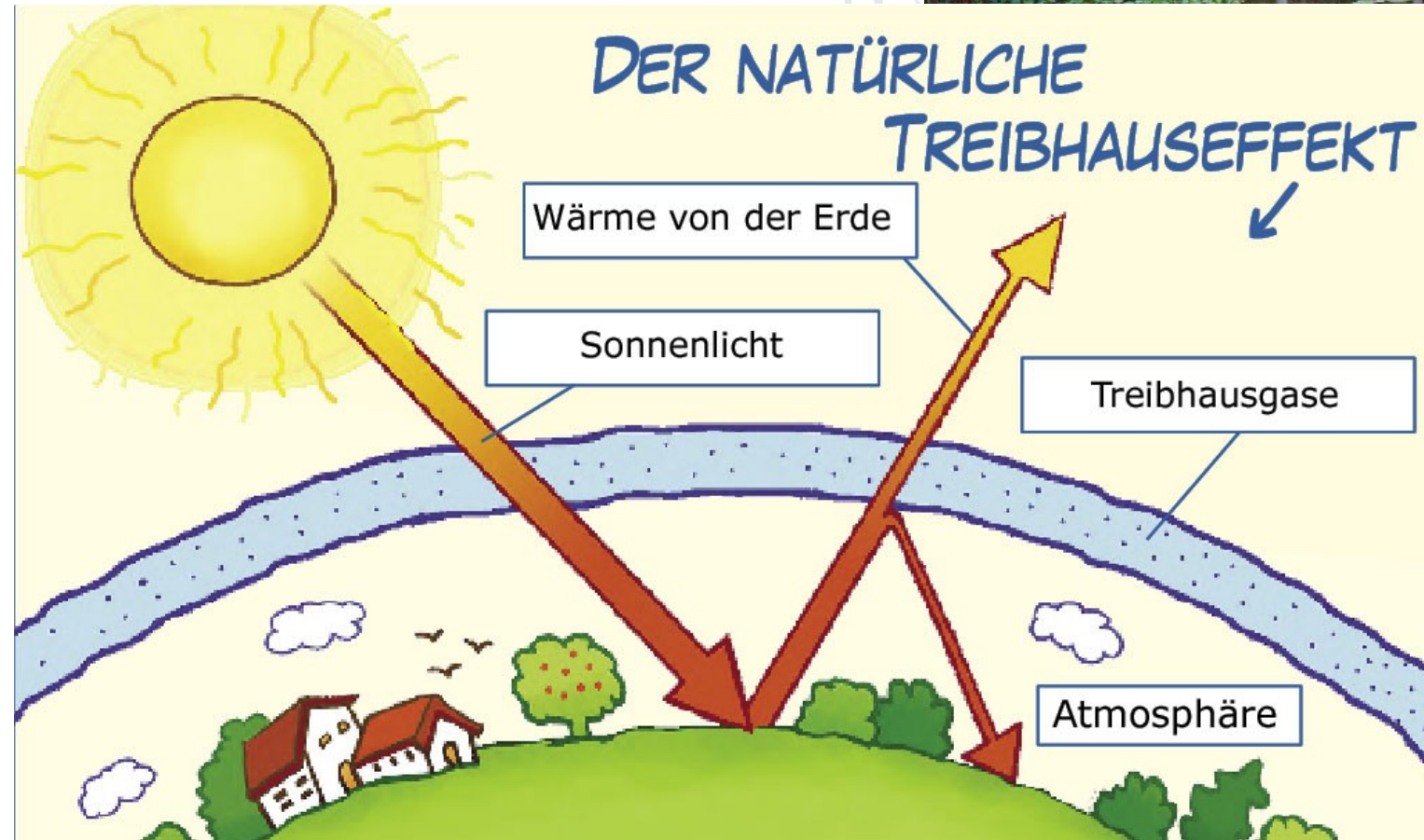


Infrarotstrahlung



Alles Lichtwellen aber mit verschiedener Wellenlänge

Problem

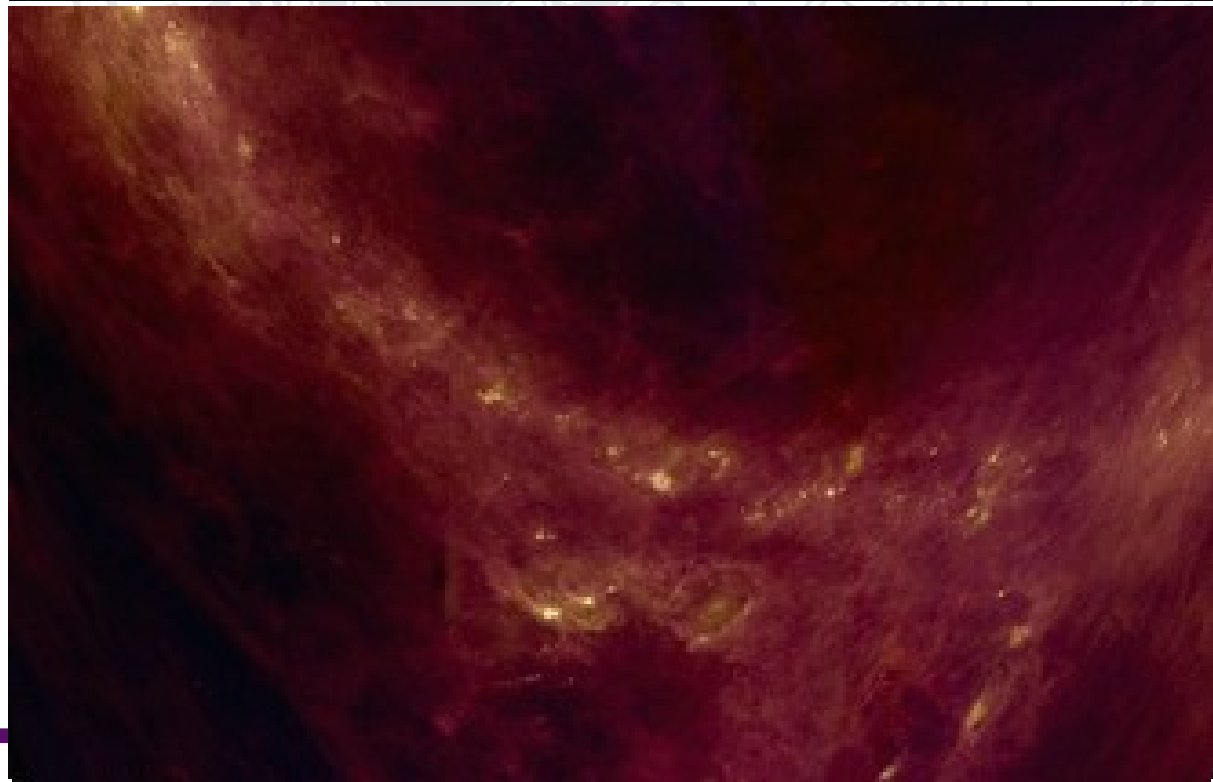


Lösung

- Weltraumteleskop
 - ◆ IRAS
(1983-1984)

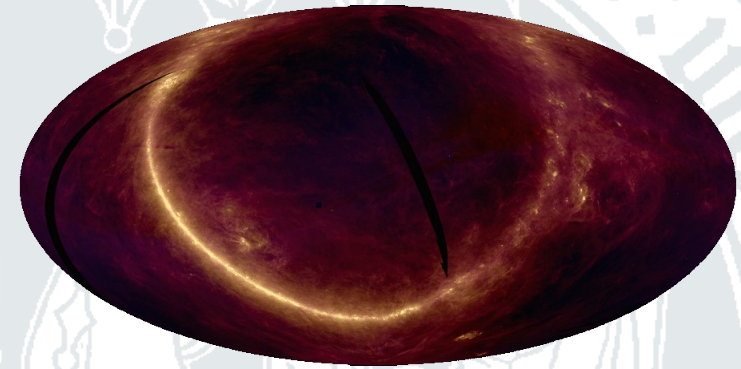


- 12, 25, 60, 100 μ m
- Kartierung von 96%
des Himmels



IRAS

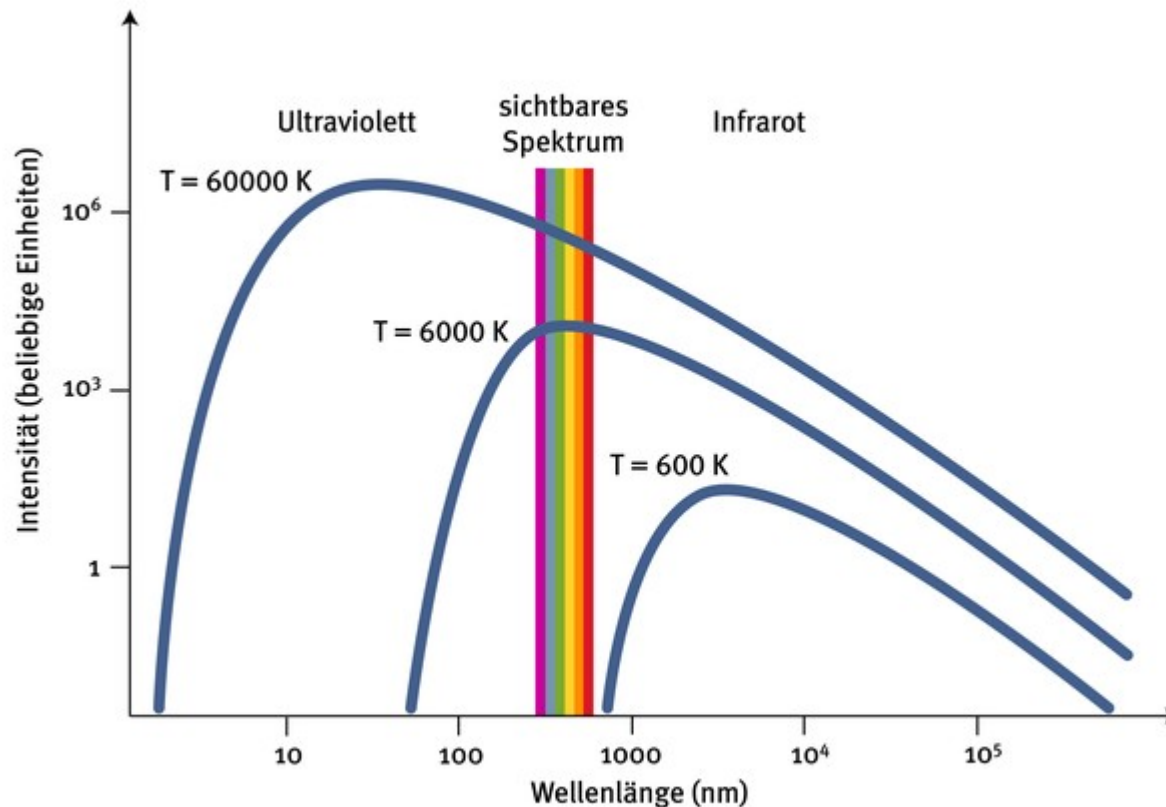
- 12, 25, 60, 100 μ m
- Kartierung von 96% des Himmels
- Aber: räumliche Auflösung „lausig“, keine spektrale Info



Was strahlt im Fern-Infrarot?

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

Strahlung eines schwarzen Körpers



IRAS zeigt sehr kalten Staub

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

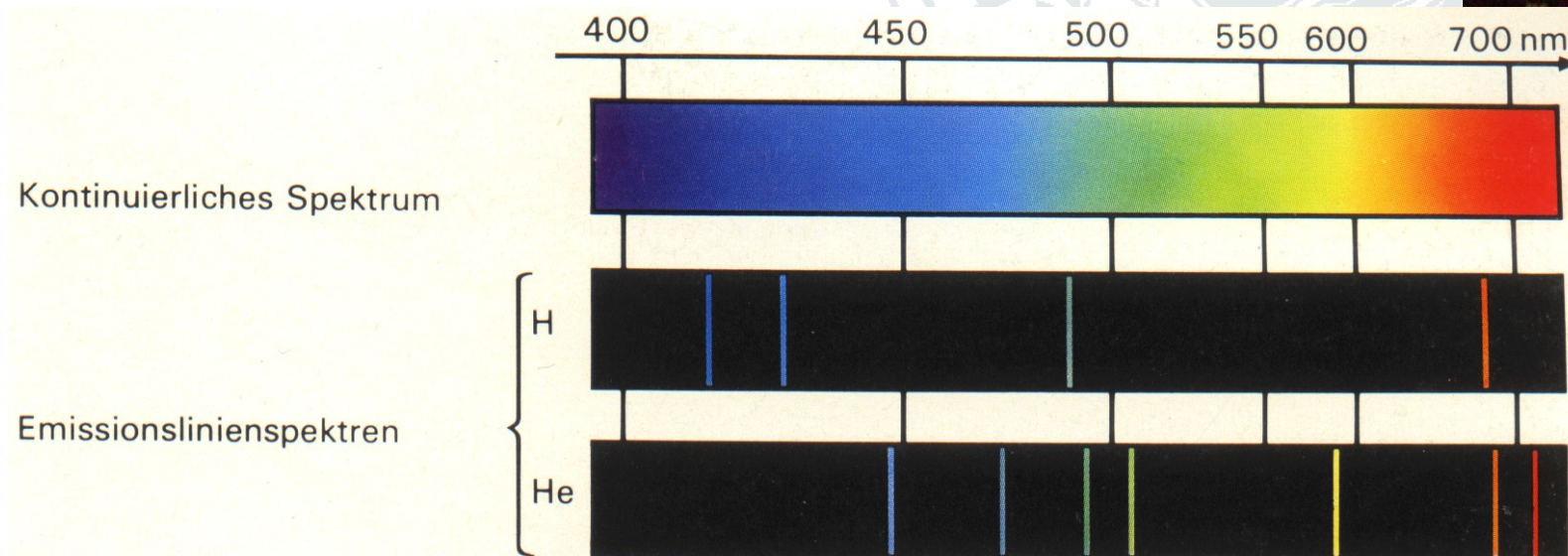
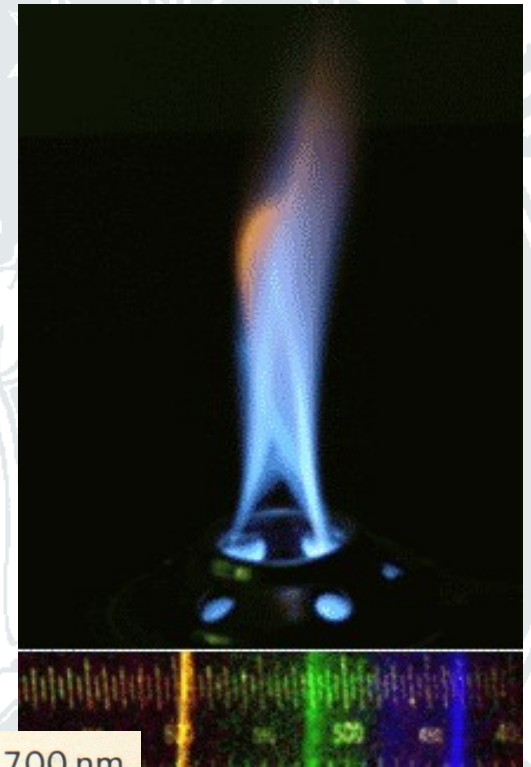
<http://www.physast.uga.edu/~rls/1020/ch6/wein.swf>

www.weltderphysik.de

Was strahlt im Fern-Infrarot?

- **Interstellares Gas**

- Gasatome und -moleküle strahlen nicht wie Festkörper, sondern wie Radiosender
- Senden bei genau vorgegebenen Frequenzen



Spiritusflamme
mit Linien-
spektrum:
Emissionslinien
bestimmen die
Farbe der
Flamme

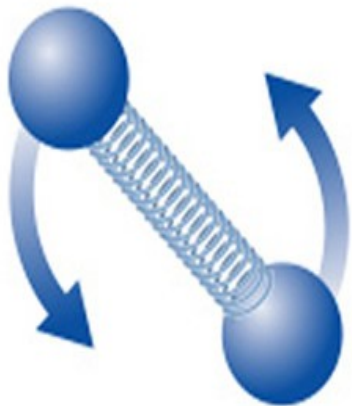
- Messung der Sendefrequenzen → **Zusammensetzung des Gases**

Was strahlt im Fern-Infrarot?

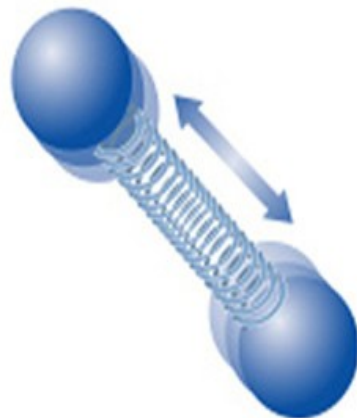
- **Interstellares Gas**

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

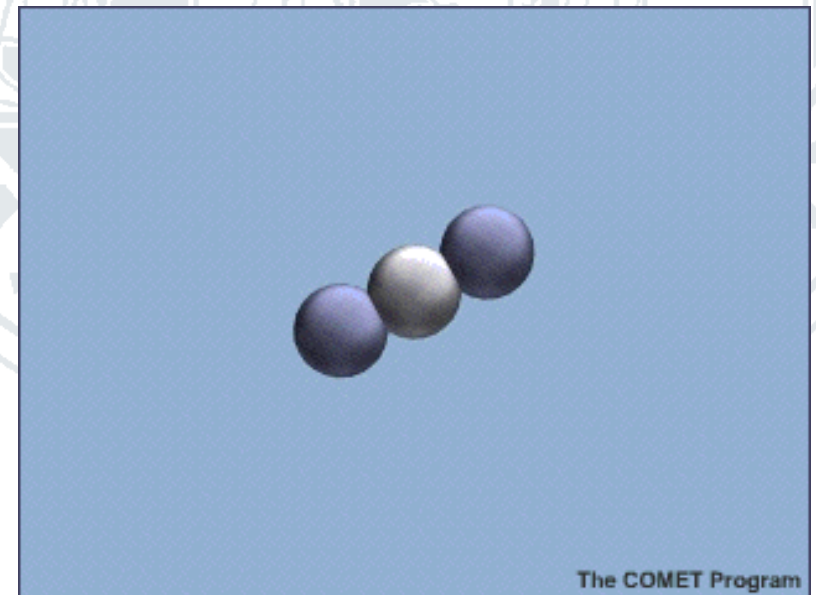
rotation



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.

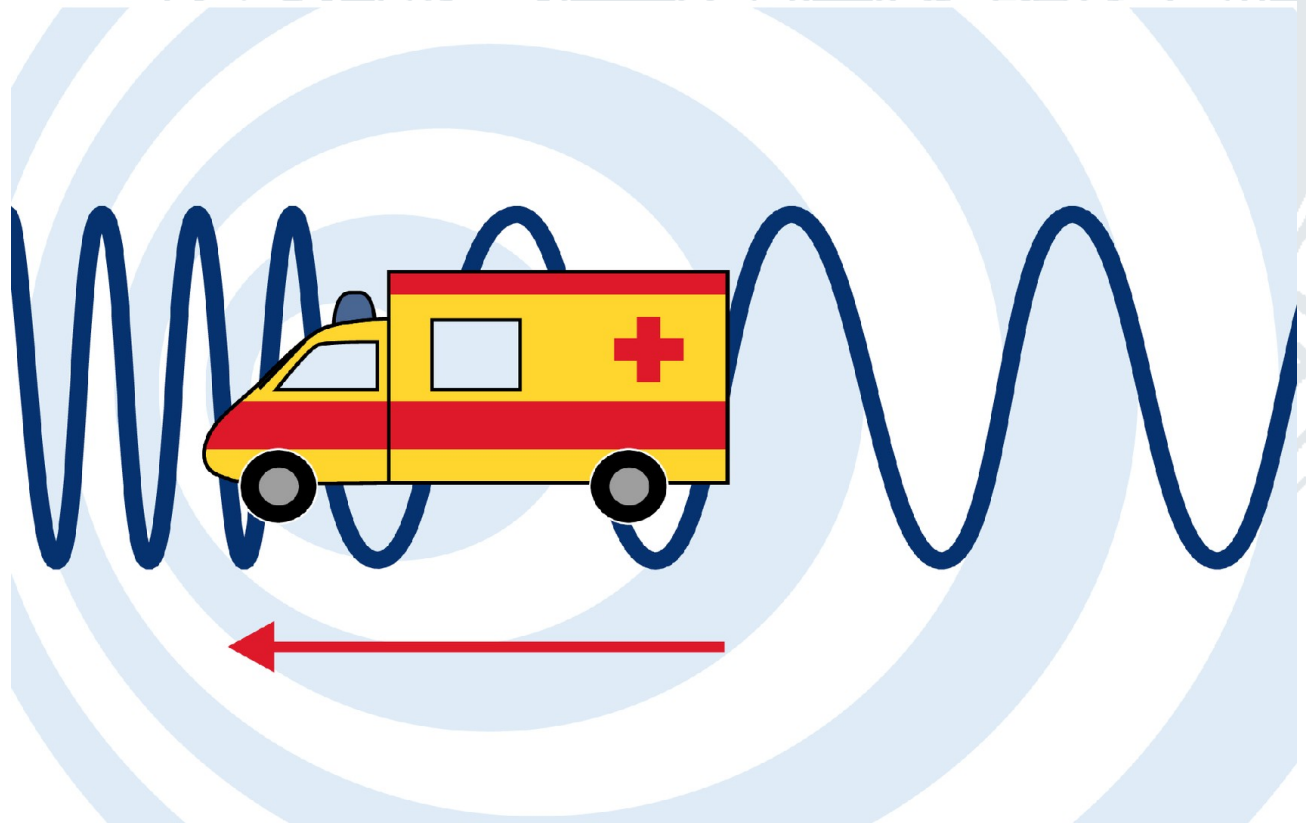
Gas zur Geschwindigkeitsmessung

- **Doppler-Effekt**

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



→
**Geschwindigkeits-
messung**



 SOME RIGHTS RESERVED
Creative Commons BY-NC-ND

www.weltderphysik.de

Gas zur Geschwindigkeitsmessung

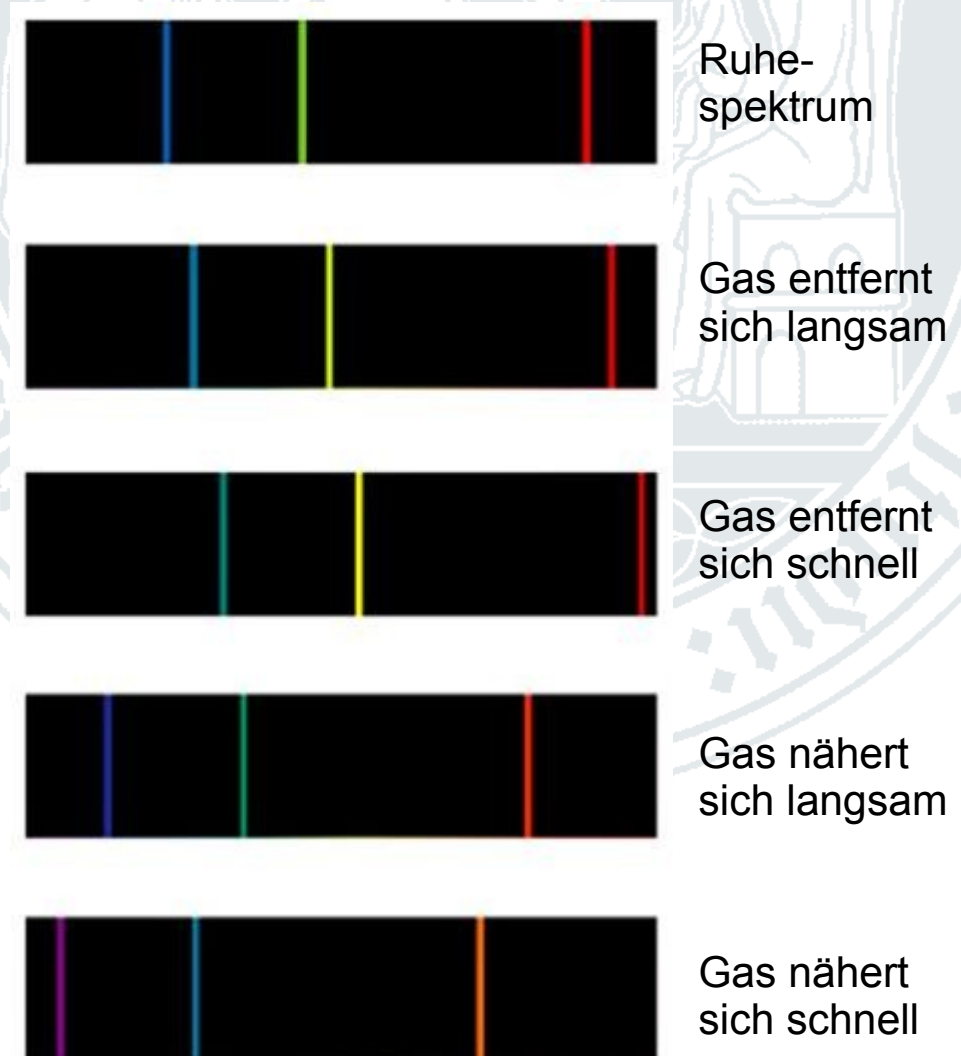
- **Nutzung des Doppler-Effektes**

- Bekannte Sendefrequenz der Moleküle

→ gemessene Frequenz

→ **Berechnung der
Bewegung der Moleküle**

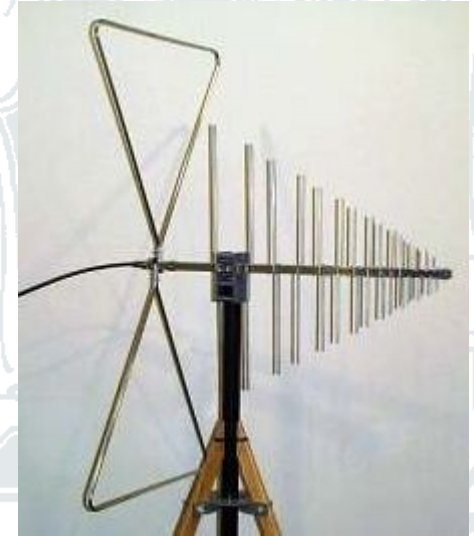
→ **Vorhersage des Schicksals
der interstellaren Wolken**



Radioempfänger für fernes Infrarot

- **3 Probleme**

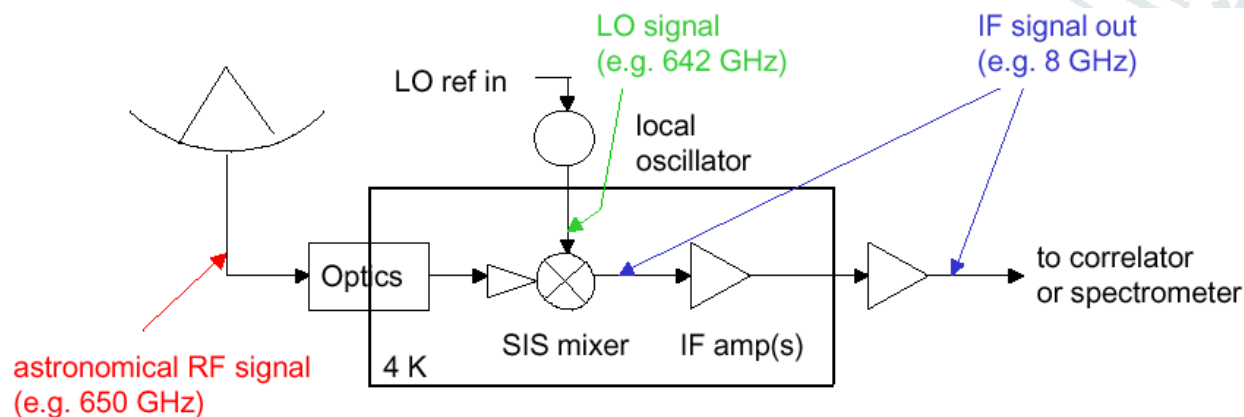
- Antennengröße wie die Wellenlänge:
 - $< 100\mu\text{m}$
- Empfänger muss extrem kalt sein:
 - $< 10\text{K}$ (-260°C)
- Empfangene Frequenz lässt sich nicht direkt verstärken:
 - THz statt 100 MHz



Lösung für Verstärkerproblem

- **Heterodynprinzip**

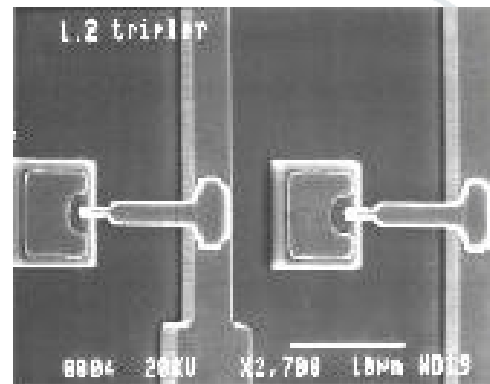
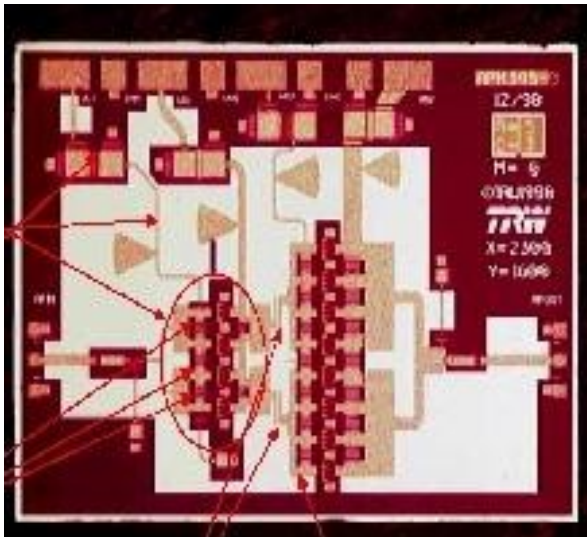
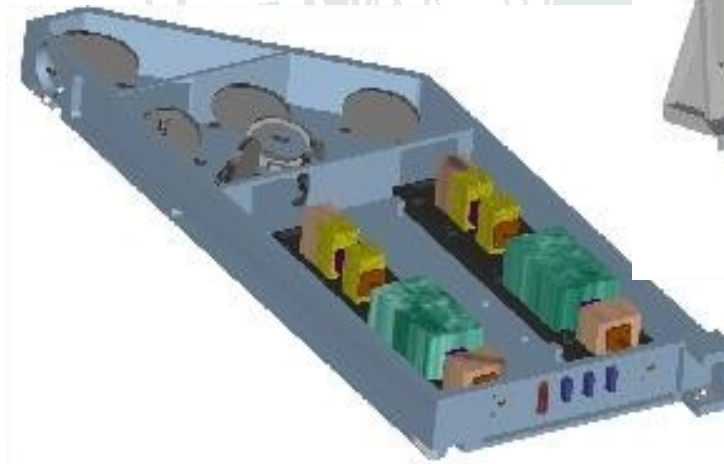
- Kombination mit bekanntem Signal
- Verstärkung der Differenzfrequenz



Referenzsignal

- Lokaloszillator

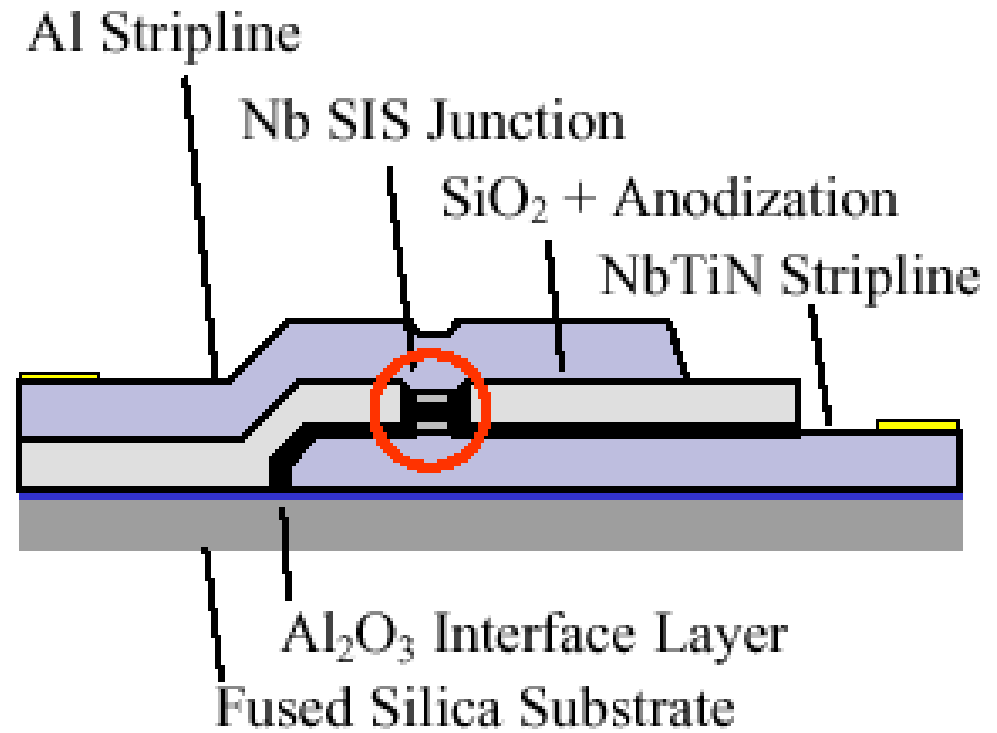
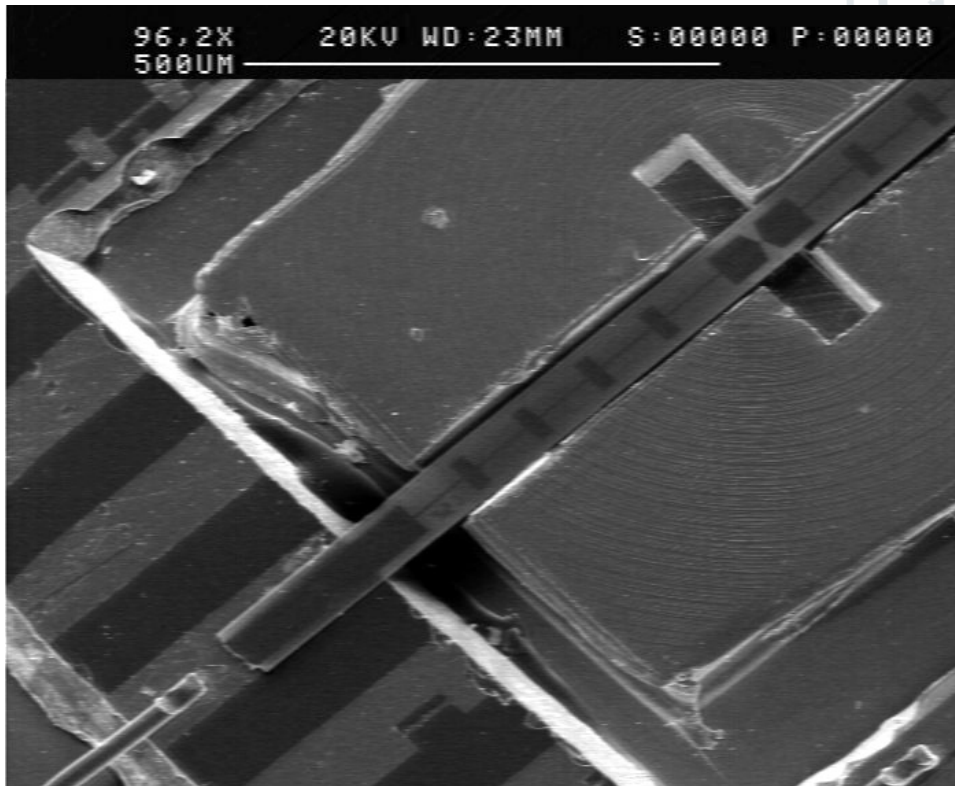
- Gebaut am Max-Planck-Institut für Radioastronomie Bonn



Durchstimmbare
Sendefrequenz um
1THz mit Genauigkeit
von wenigen kHz!

Mischer

- Supraleitende
“Photodiode”
- Braucht Temperaturen
von 3 K ($< -270^{\circ}\text{C}$)

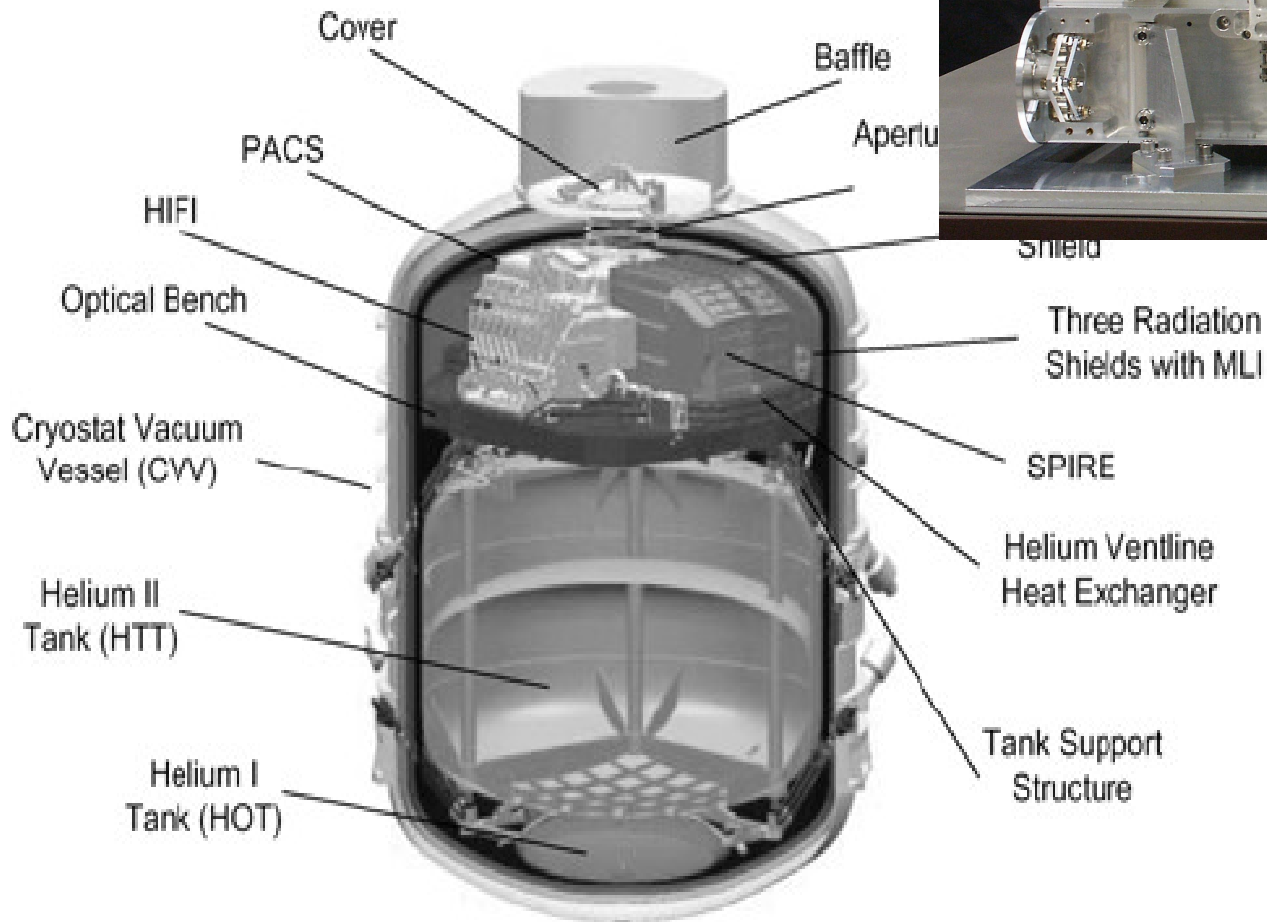
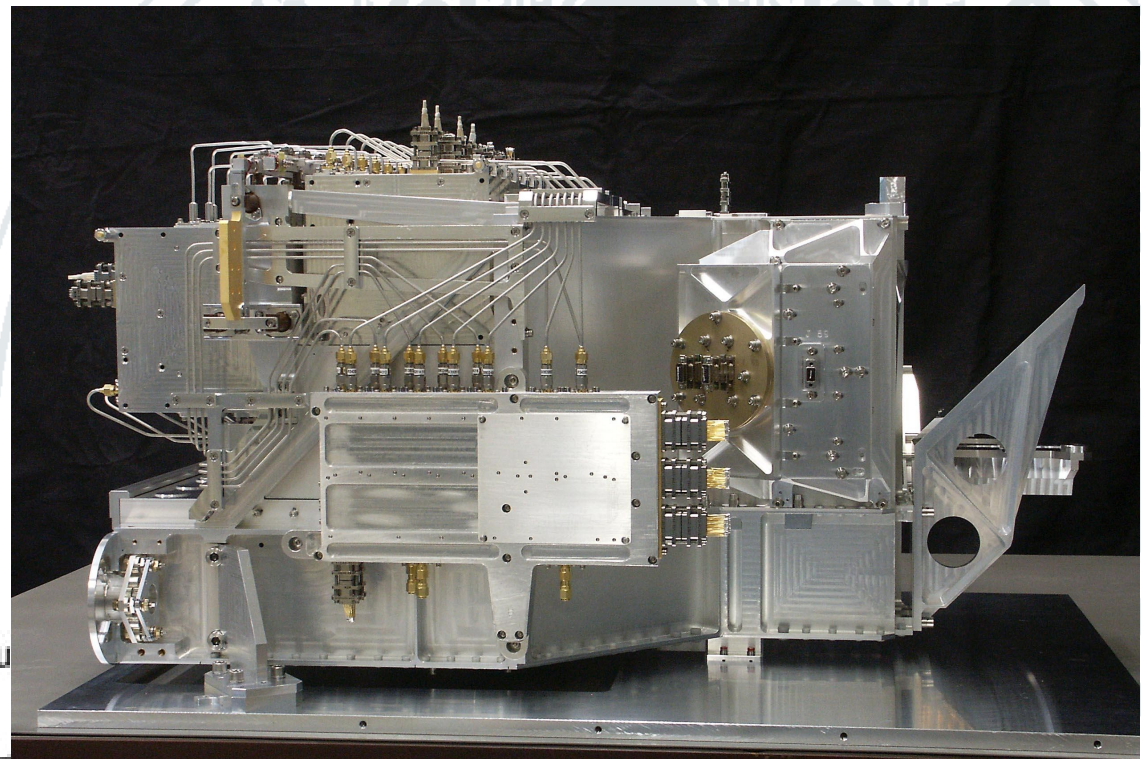


Infrarotmischer – Uni Köln

Strukturgrößen von
 $< 2\mu\text{m}$

Einbau in Mischerblock: **Vitrine**

Das gesamte Instrument: HIFI

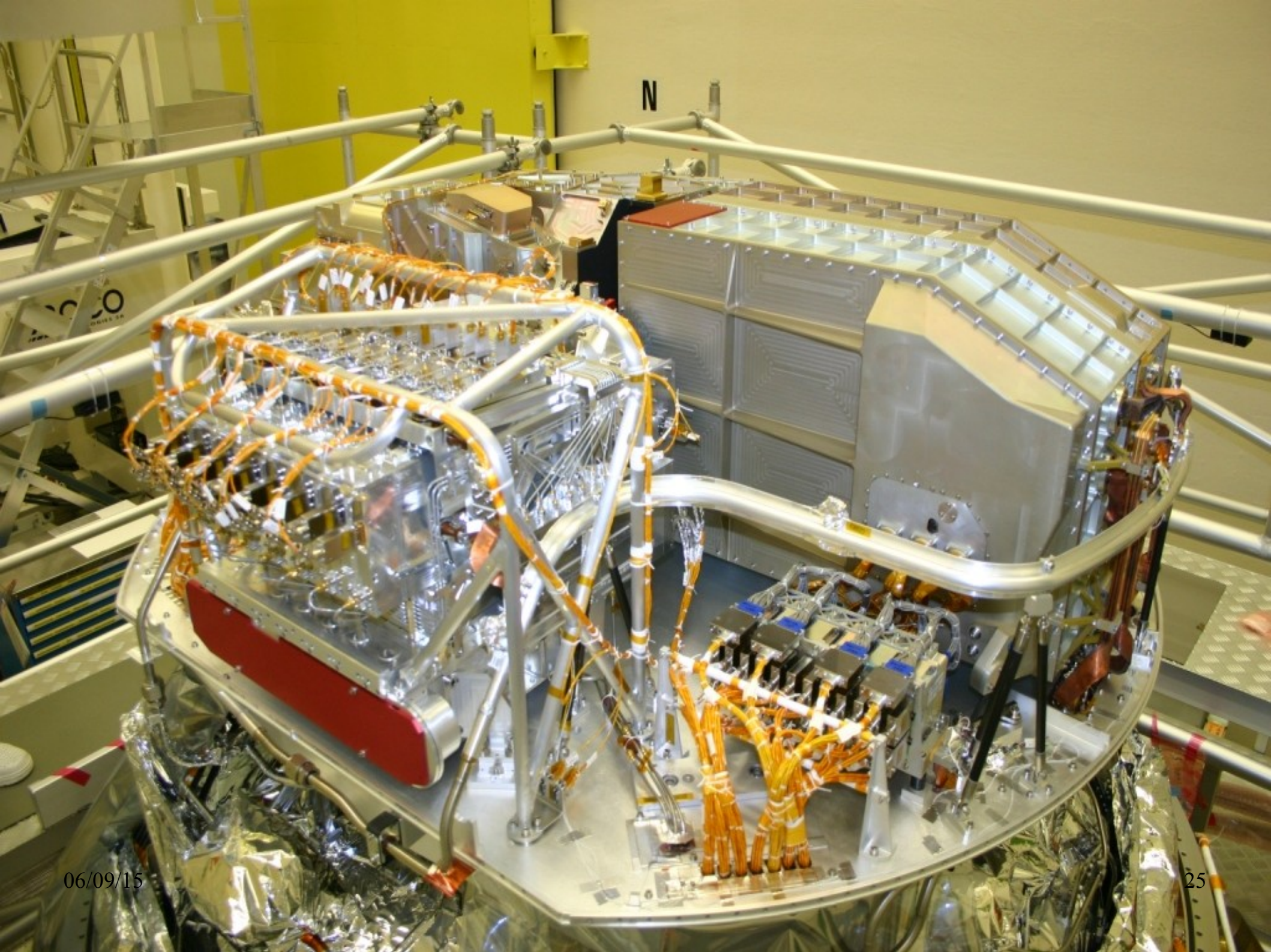


- Muss auf -270°C gekühlt werden:

- Tank mit flüssigem Helium

- Verdampft nach und nach

- Reicht 4 Jahre

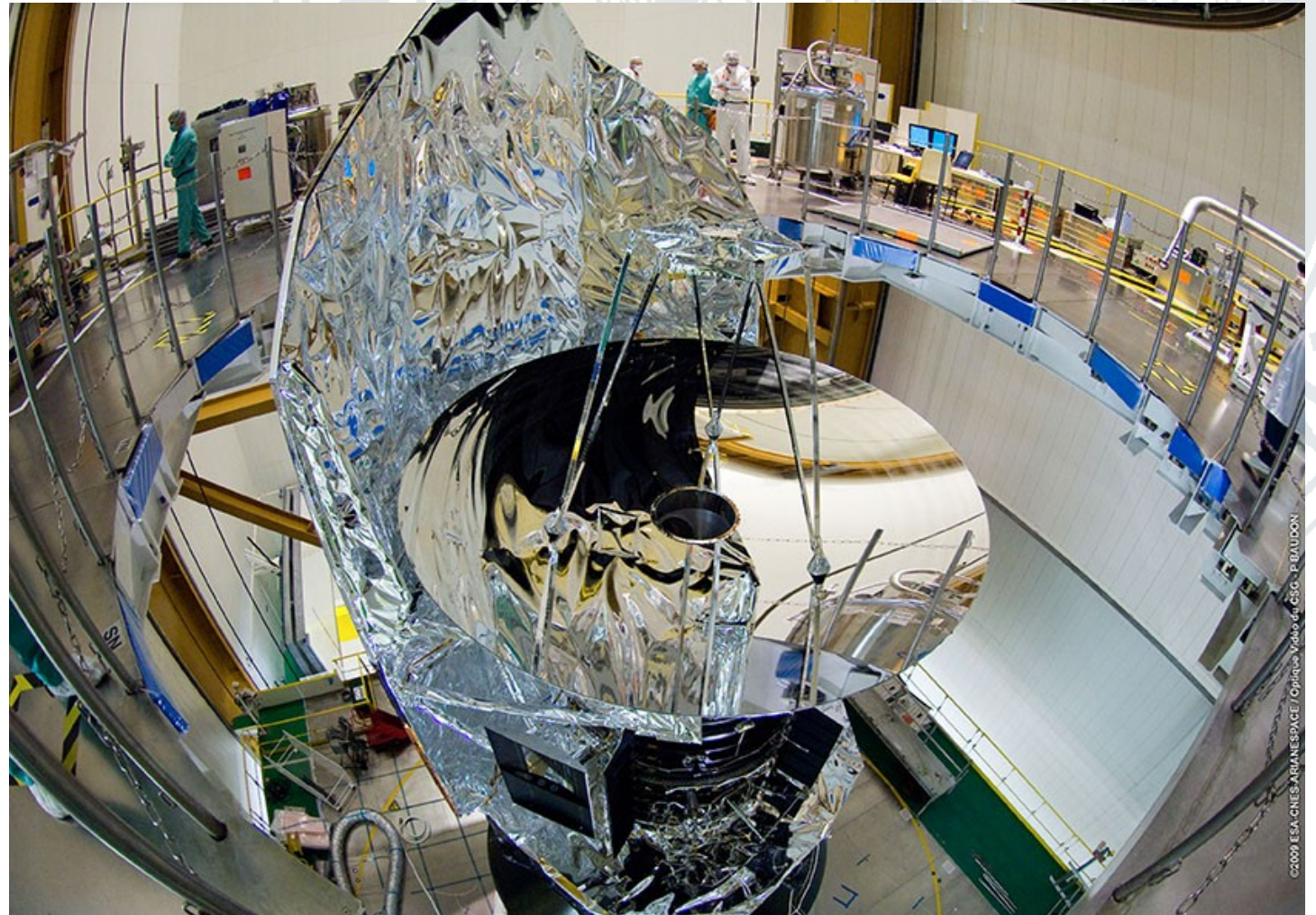


06/09/15

25

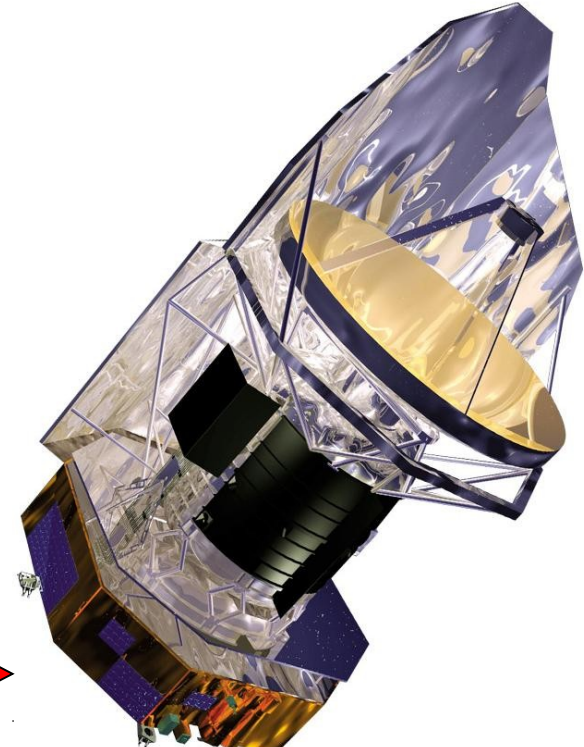
Das Teleskop

- Spiegelteleskop mit 3.5m Durchmesser
 - sehr gutes Auflösungsvermögen
- SiC-Spiegel
- Oberflächen-
genauigkeit:
 $< 4\mu\text{m}$



©2009 ESA-CNES-ARIANESPACE / Optique Vidéo CSG - P. BAUDON

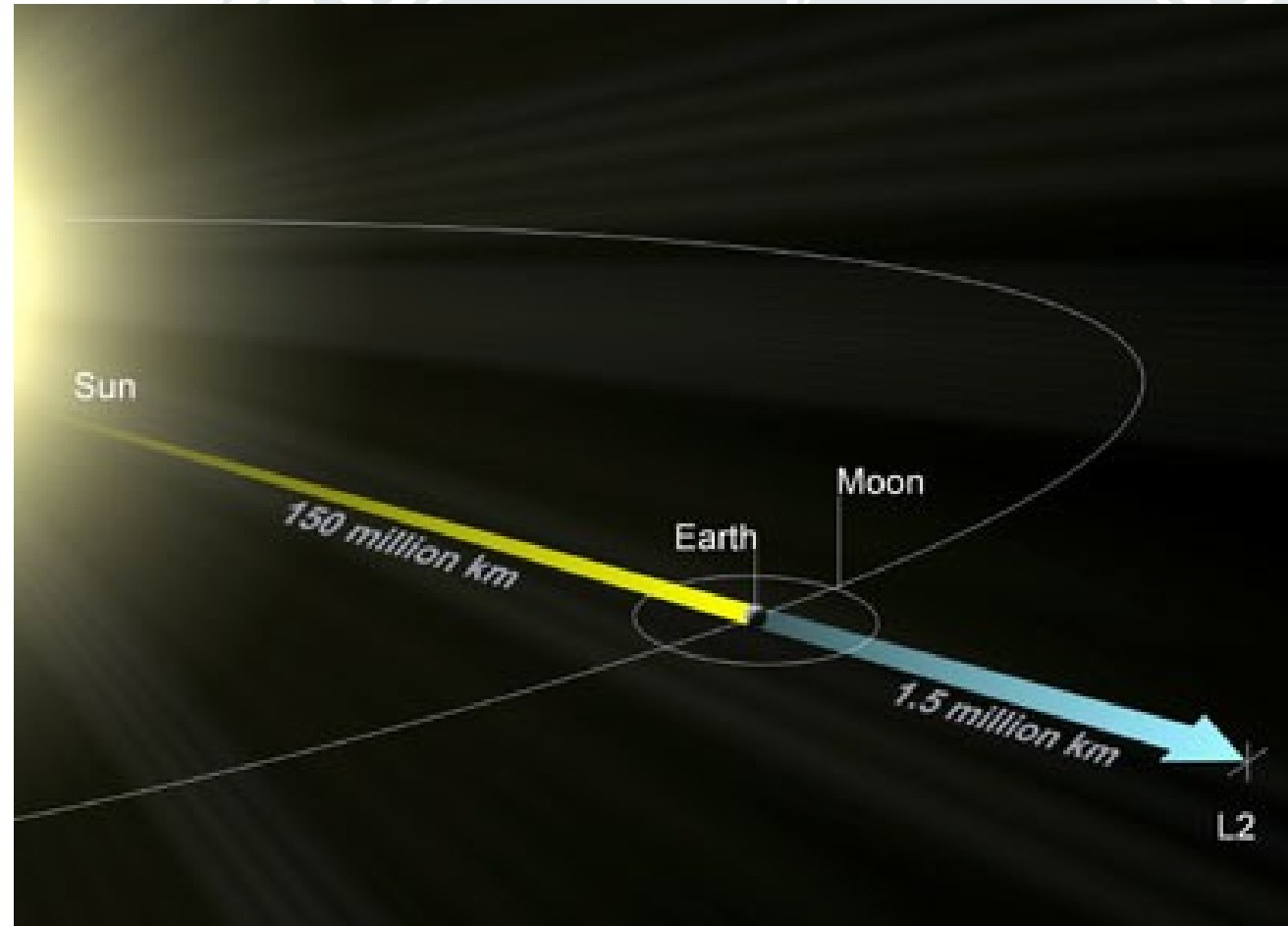
Start zusammen mit Planck durch Ariane V



Beobachtungsort

- **Lagrange-2-Punkt**

- ◆ Thermisch sehr stabil
- ◆ Außerhalb der Strahlungsgürtel der Erde

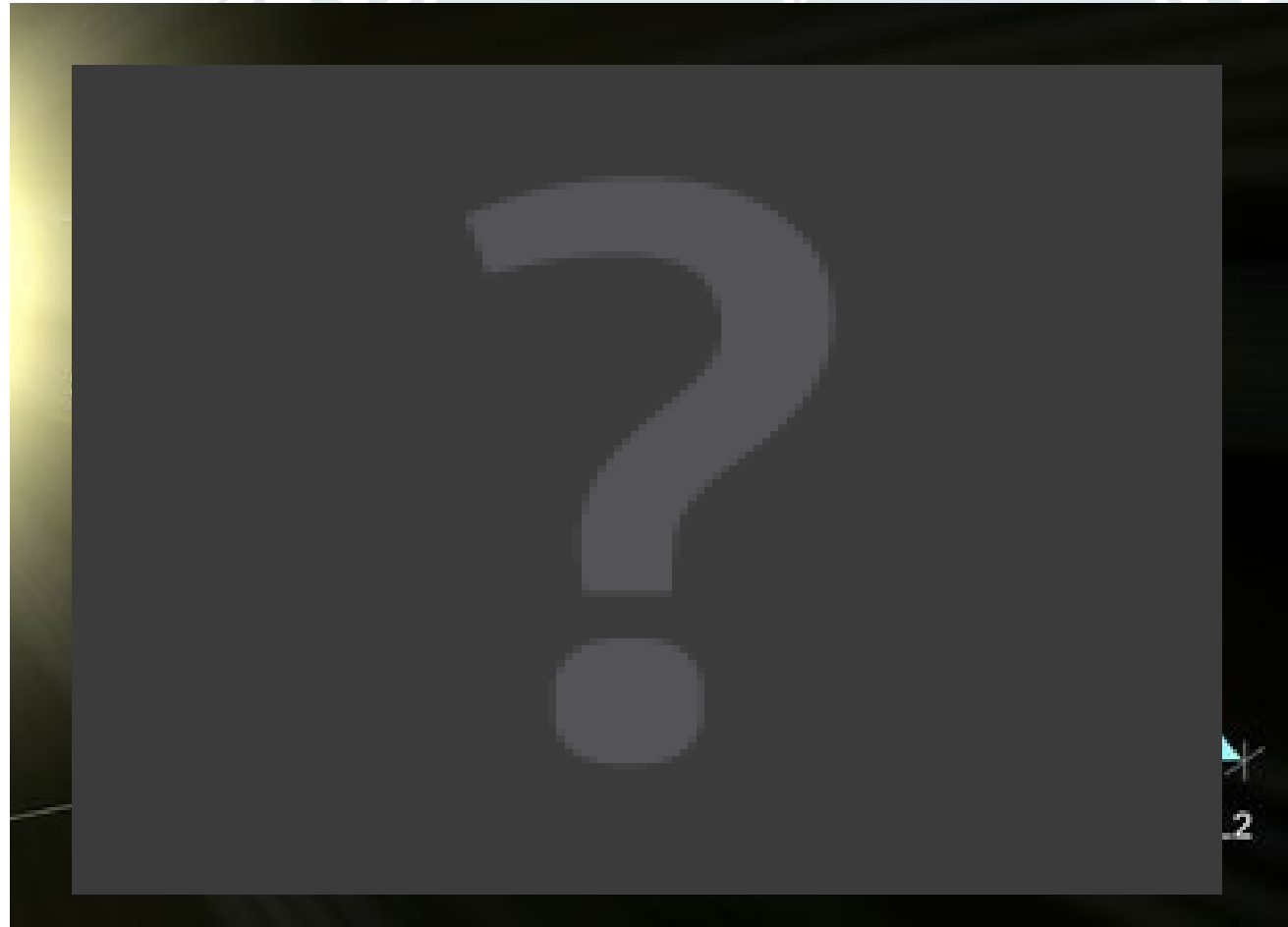


Aber!

- ◆ Solarpanele und Sonnenschild müssen immer zur Sonne zeigen
- ◆ Wir können das innere Sonnensystem nie beobachten
 - Erde, Mond, Venus, ... verboten!

Beobachtungsort

- **Lagrange-2-Punkt**
 - ◆ Thermisch sehr stabil
 - ◆ Außerhalb der Strahlungsgürtel der Erde

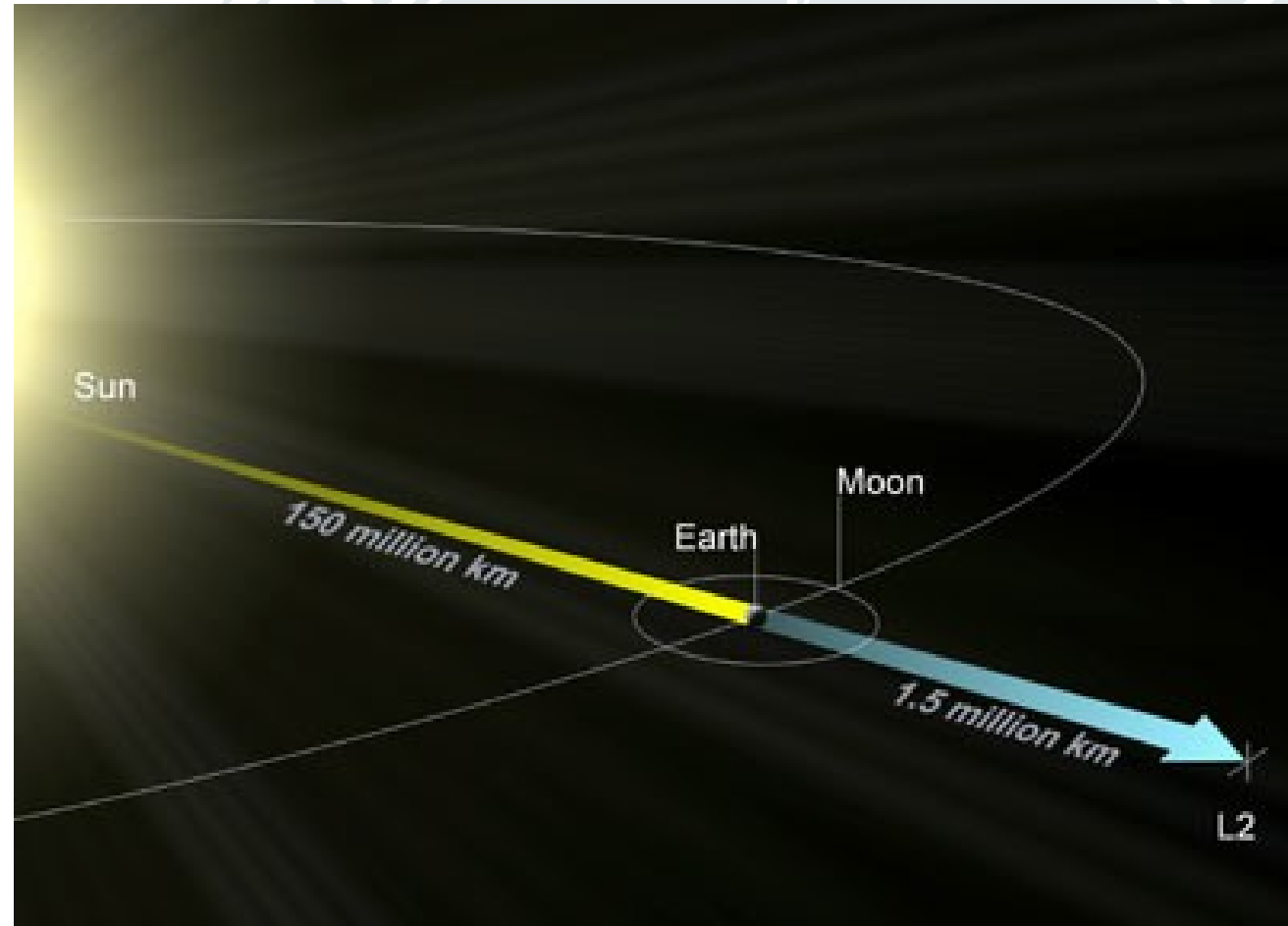


Aber!

- ◆ Solarpanele und Sonnenschild müssen immer zur Sonne zeigen
- ◆ Wir können das innere Sonnensystem nie beobachten
 - Erde, Mond, Venus, ... verboten!

Beobachtungsort

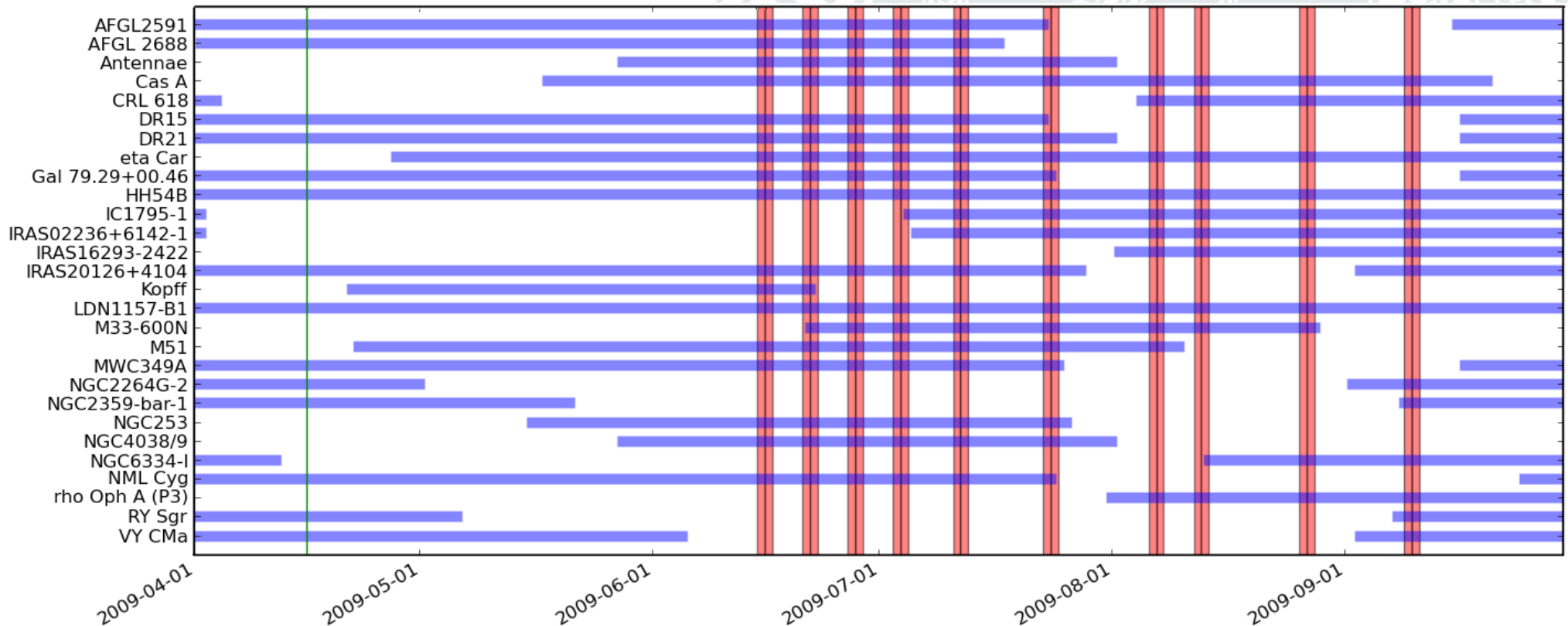
- **Lagrange-2-Punkt**
 - ◆ Thermisch sehr stabil
 - ◆ Außerhalb der Strahlungsgürtel der Erde



Aber!

- ◆ Solarpanele und Sonnenschild müssen immer zur Sonne zeigen
- ◆ Wir können das innere Sonnensystem nie beobachten
 - Erde, Mond, Venus, ... verboten!

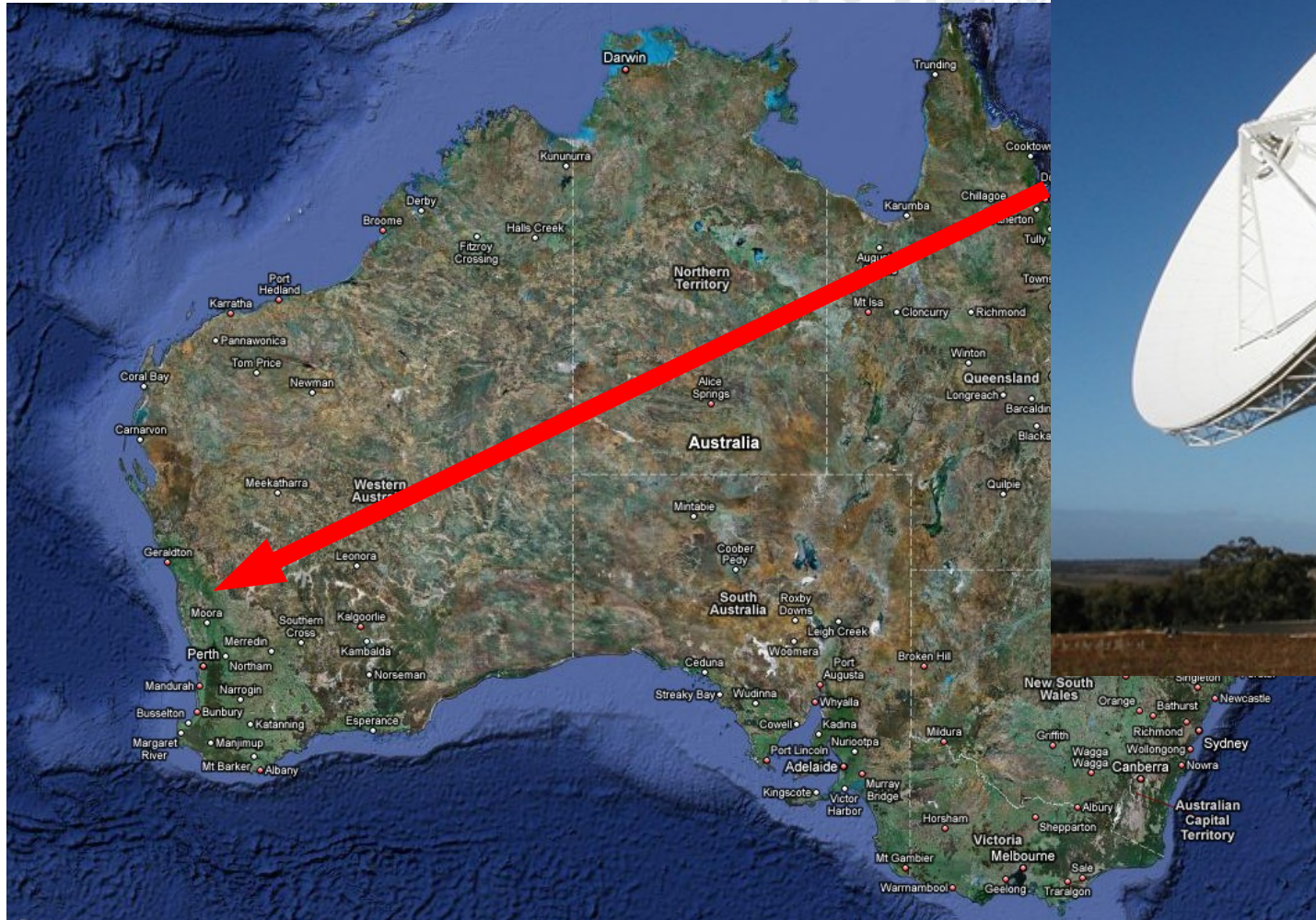
Sichtbarer Himmel durch Lage beschränkt



- Fast alle Quellen sind nur zu bestimmten Jahreszeiten sichtbar.
- Im Laufe eines halben Jahres kann aber der gesamte Himmel beobachtet werden

Kommandierung

- Kontakt zur Erde nur zur Nachtseite
- Antenne des Deep-Space-Netzwerks einmal am Tag für 4h
- Begrenzte Datenübertragungsrate wegen 1.5Mio km Abstand



New Norcia

Kommandierung

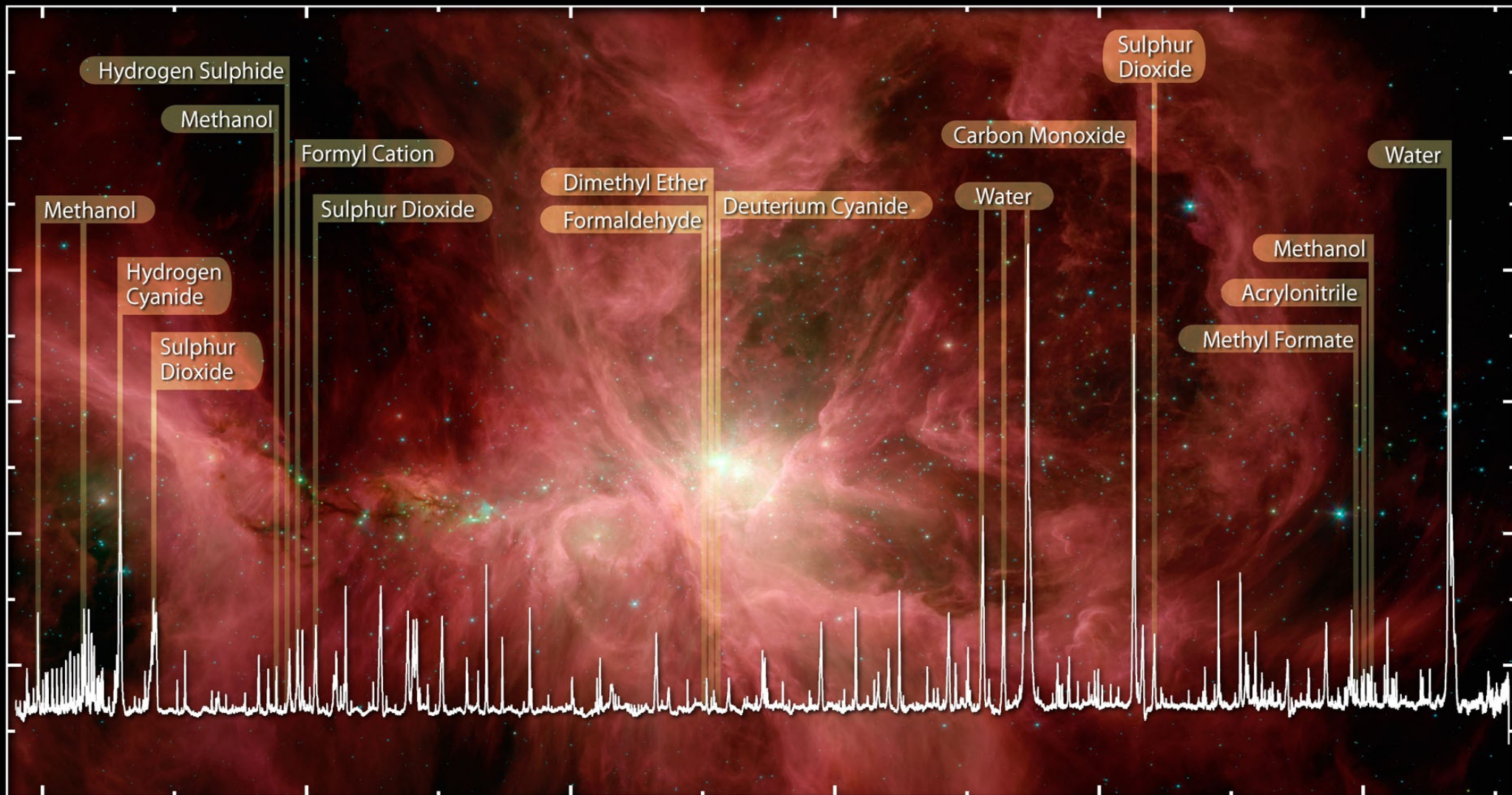
- Praktisch alle Beobachtungen müssen vollautomatisch ablaufen
 - Das Ergebnis erhält man erst 24h später
- Kommandierung aller Operationen im vorberechneten Sekundenraster

```
2009-06-14T16:06:19Z OBS_START          9          /* Start of observation 9
2009-06-14T16:06:19Z HSCCOM             OBS MODE  HifiMappingProcDBSRaster
2009-06-14T16:06:19Z HSCCOM             OBS ID    9207
2009-06-14T16:06:19Z TM_RATE             61.2        /* Science rate
2009-06-14T16:06:19Z SSO_TRACK           699         /* NAIF ID of target
2009-06-14T16:06:19Z PREQ               00640034     /* Fine pointing
2009-06-14T16:06:19Z HSCCOM             INFO PREQ IB: 167.37982 7.66540 292.51388
2009-06-14T16:06:20Z ED                 HC014289     /* HIFI_Set_OBS_ID
2009-06-14T16:06:20Z ED                 HC016289     /* HIFI_Housekeeping_on
2009-06-14T16:06:21Z ED                 HC027289     /* HIFI_Configure_FCU_Power
2009-06-14T16:06:21Z ED                 HC182289     /* HIFI_P_Configure_FCU
2009-06-14T16:06:37Z ED                 HC135289     /* HIFI_Load_vector_safe_4b
2009-06-14T16:06:37Z ED                 HC138289     /* HIFI_Tune_LO_Using_MXCH
2009-06-14T16:06:49Z ED                 HC193289     /* HIFI_LCU_all_tuning_hk
2009-06-14T16:10:50Z ED                 HC150289     /* HIFI_config_spectroscopy
2009-06-14T16:10:50Z ED                 HC188289     /* HIFI_P_Spectr_slow_chop
```

- Teleskop und Instrumente müssen exakt synchronisiert sein
- Jeder Fehler führt zum Verlust der jeweiligen Beobachtung

Herschel - Beobachtungen



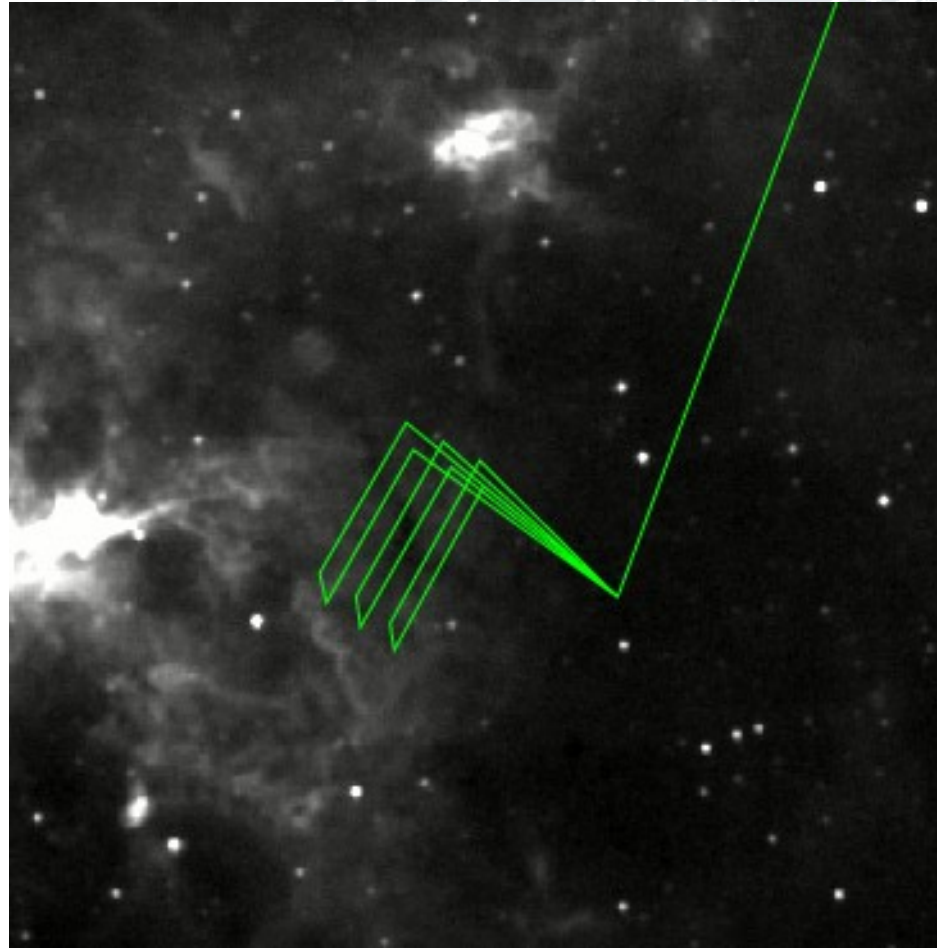


HIFI Spectrum of Water and
Organics in the Orion Nebula

© ESA, HEXOS and the HIFI consortium
E. Bergin

Beobachtung mit HIFI

- Der Empfänger sieht nur einen einzigen Punkt
 - ◆ Zur Kartierung muss jede Quelle abgerastert werden

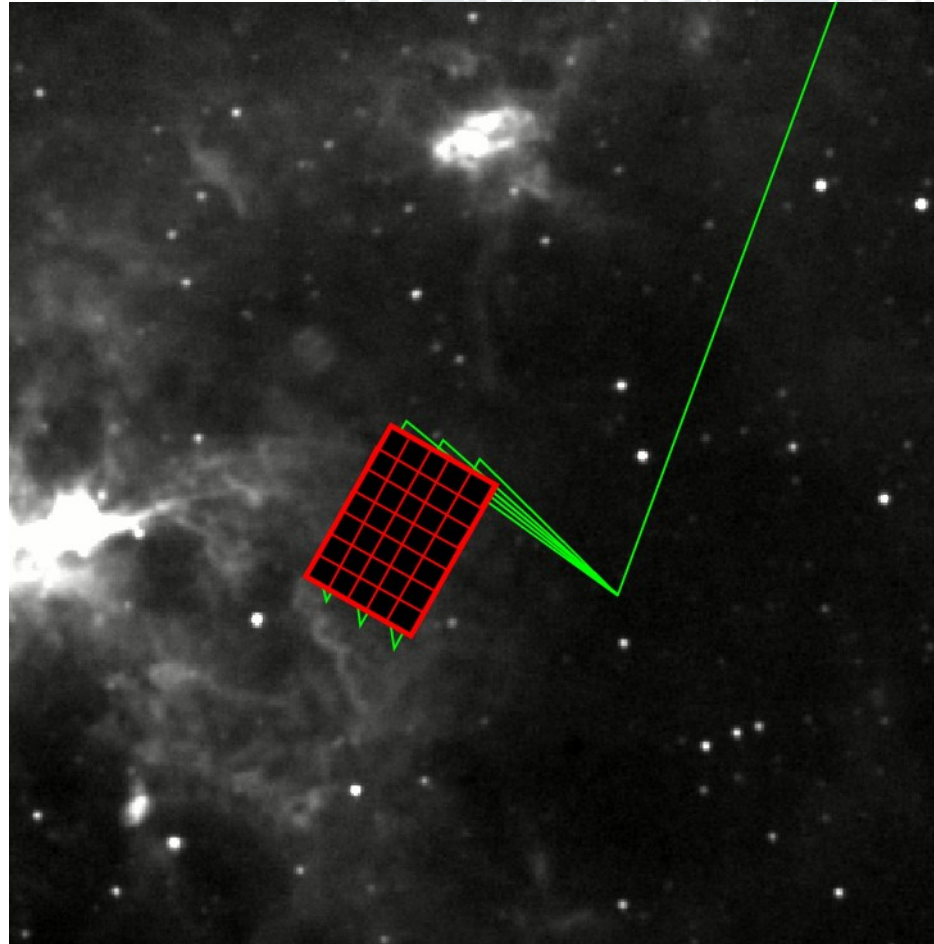


Beispiel der OTF-Kartierung einer Infrarotdunkelwolke

- ◆ Nur bei exaktem Timing wird an richtiger Position gemessen.

Beobachtung mit HIFI

- Der Empfänger sieht nur einen einzigen Punkt
 - ◆ Zur Kartierung muss jede Quelle abgerastert werden

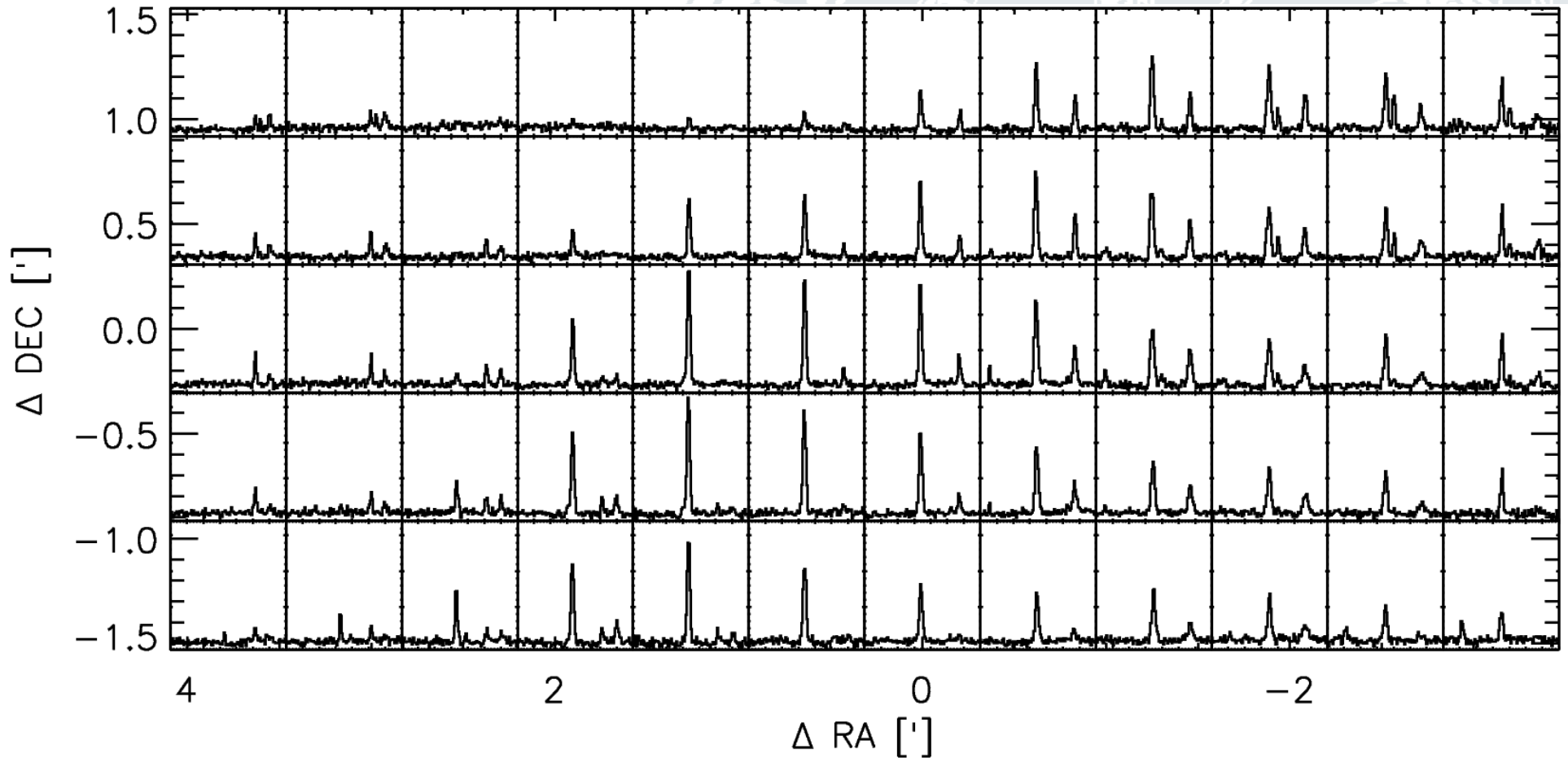


Beispiel der OTF-Kartierung einer Infrarotdunkelwolke

- ◆ Nur bei exaktem Timing wird an richtiger Position gemessen.

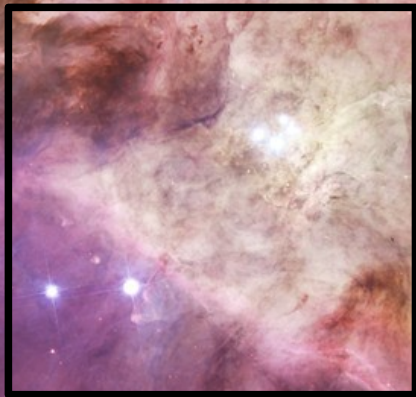
Beobachtung mit HIFI

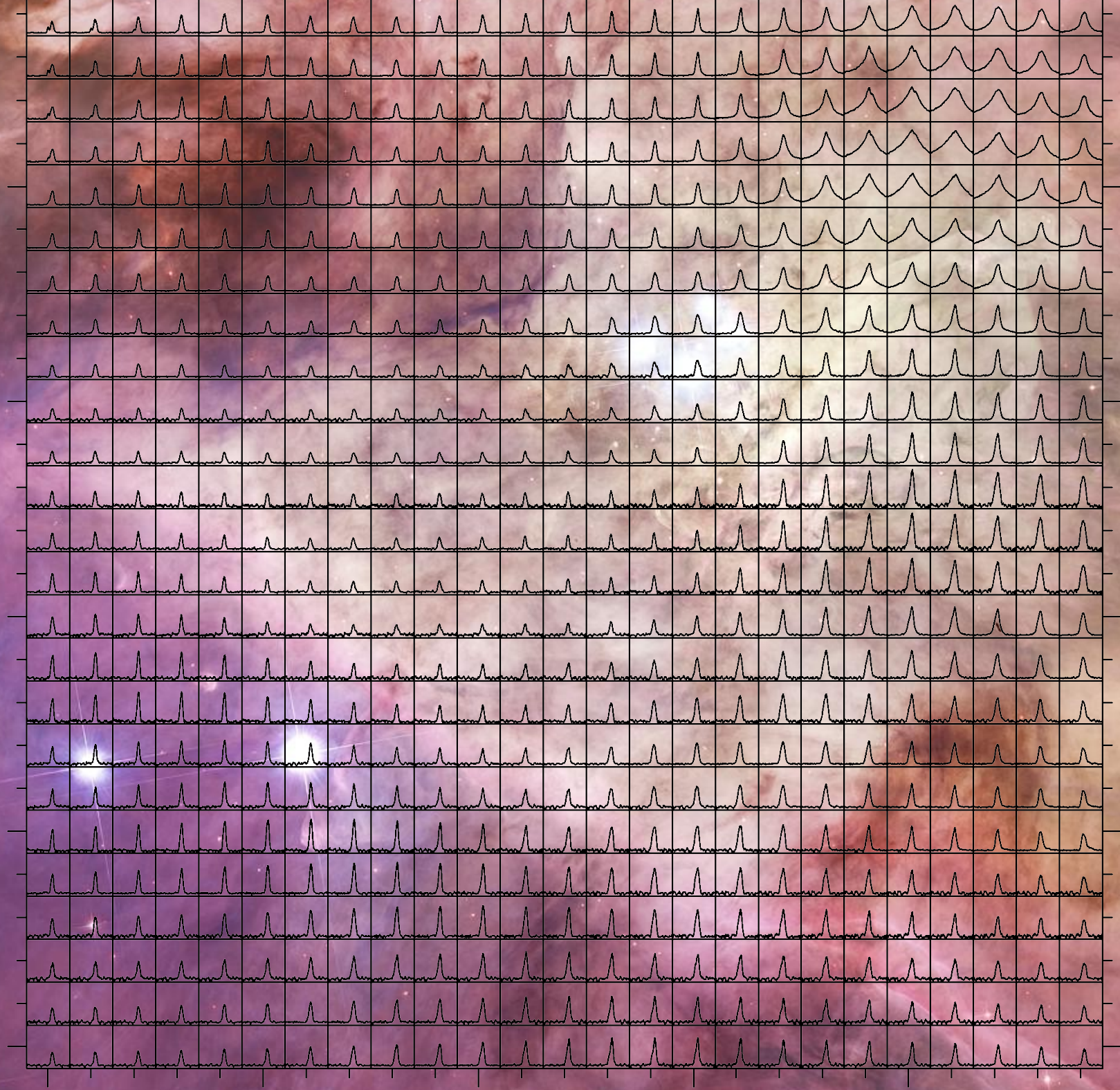
- Ergebnis



Linienpektrum an jedem Punkt der Karte

- zeigt Molekül- und Geschwindigkeitsverteilung



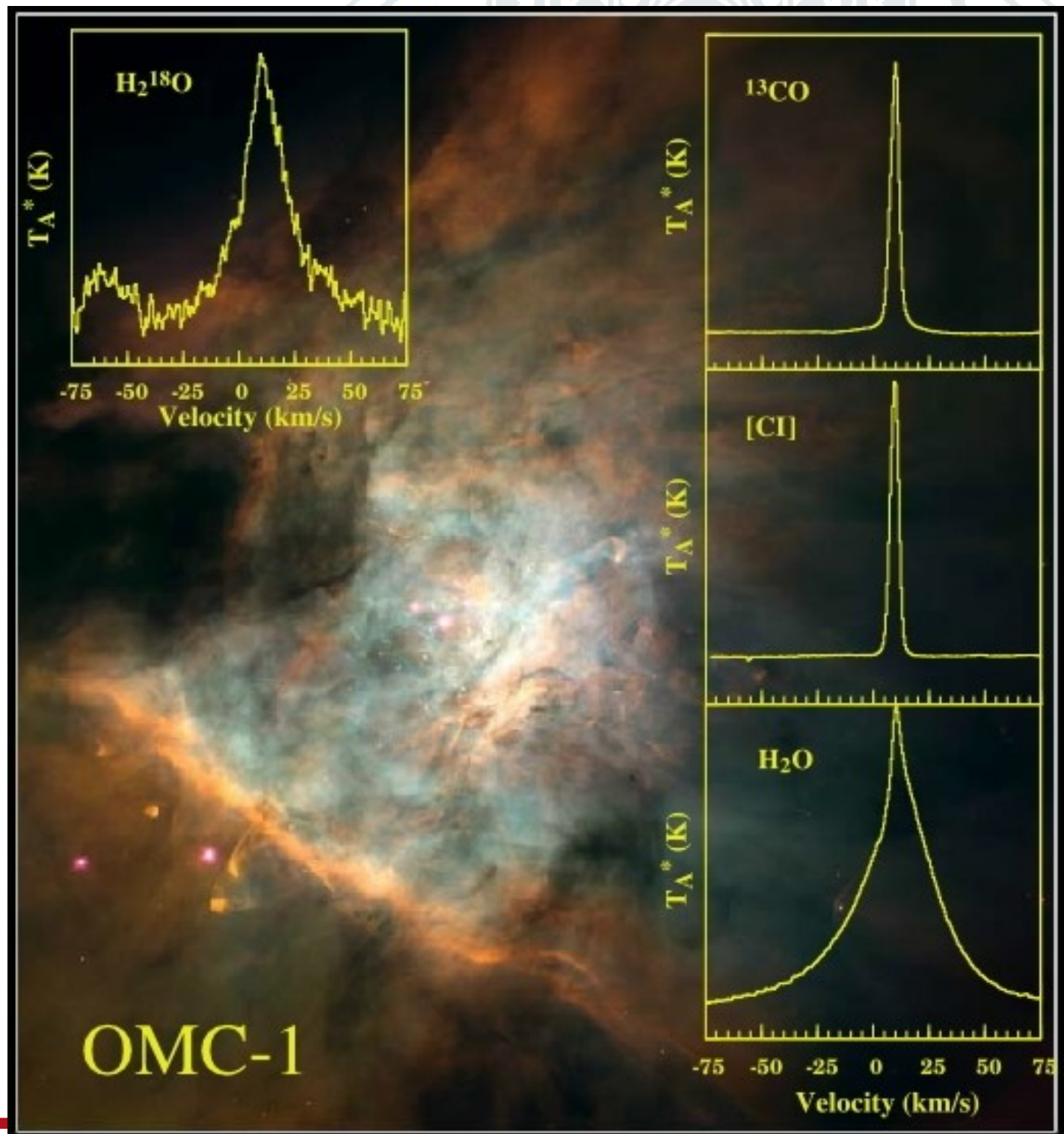


Beobachtung mit HIFI

- Verschiedene Moleküle zeigen unterschiedliche Geschwindigkeitsstruktur

- Erklärung:

???







Ab in die Rakete

