

SOFIA

das fliegende Infrarot-Teleskop blickt „hinter“ die Sterne

Markus Röllig
Universität zu Köln





SOFIA
STRATOSPHERIC OBSERVATORY
FOR INFRARED ASTRONOMY

N747NA

NASA

DLR

S Stratosphären-
O Observatorium
F für
I Infrarot
A Astronomie

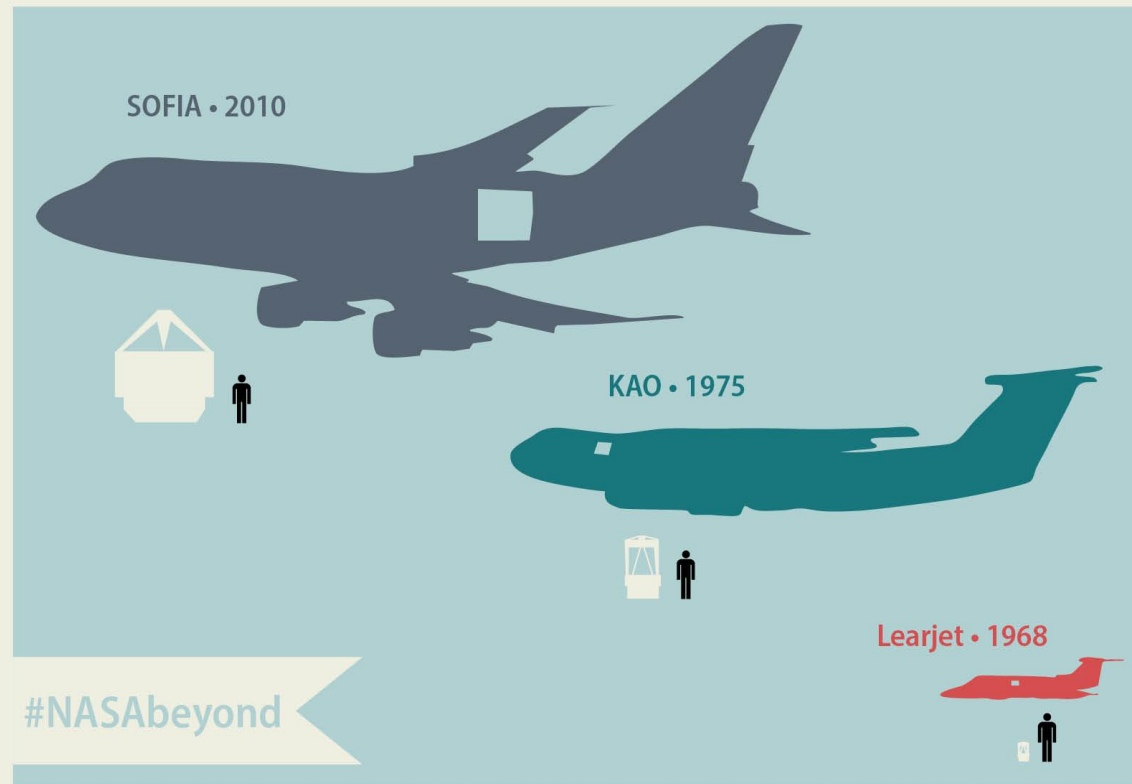


S **STRATOSPHEREN-**
O **OBSERVATORIUM**
F für
I Infrarot
A Astronomie



40 Jahre Astronomie vom Flugzeug aus

Celebrating more than 40 years of airborne astronomy



40 Jahre Astronomie vom Flugzeug aus



2008, NASA Ames Research Center

Von NASA Ames/Eric James

Home All Categories Real Estate Offline Sales Tutorials

All Categories Search Advanced Search Login Register

Warning: In order to view the most up-to-date information, please click the refresh button on your browser.

Item Information

AIRCRAFT, LOCKHEED C-141A

Sale-Lot Number: 91QSCI18175601
City, State: Moffett Field, CA
Current Bid: 8,000 USD (Reserve Not Met)
Bidders: 3
Close Time: 08/24 11:02 AM CT (Closed)
Time Remaining:

Description Bidding Details Bid History Item Location

Note: When "Compatible" bidding occurs (two or more bids of the same amount are submitted), the "high bid" is determined by GSA Auctions system's evaluation, based on the time of submission and/or by proxy.

To enhance bidder privacy and protect GSA Auctions users from fraudulent emails, GSA Auctions has changed how User IDs are displayed on the bid history page. Only you can view your User ID, all other members will see anonymous user IDs, such as Bidder#.

As of February 14, 2009 bidders will be assigned the actual bidder number for the sale/lot based on when they placed their bid. If you are the first bidder for this sale you will see Bidder#1, if you are the second bidder you will see Bidder#2.

Bidders in the Auction (Current top 10 bidders)

| Bidder | Bid Amount | Date-Time |
|----------|-----------------------------|---------------------------|
| Bidder#3 | (Reserve not met) 8,000 USD | 08/24/2018 10:52:05 AM CT |
| Bidder#2 | 7,000 USD | 08/23/2018 05:07:17 PM CT |
| Bidder#1 | 6,000 USD | 08/23/2018 10:14:15 AM CT |

Your Bids

Item Photos

A large photograph of the Lockheed C-141A aircraft on the tarmac, with several smaller thumbnail images above it showing different views of the aircraft.

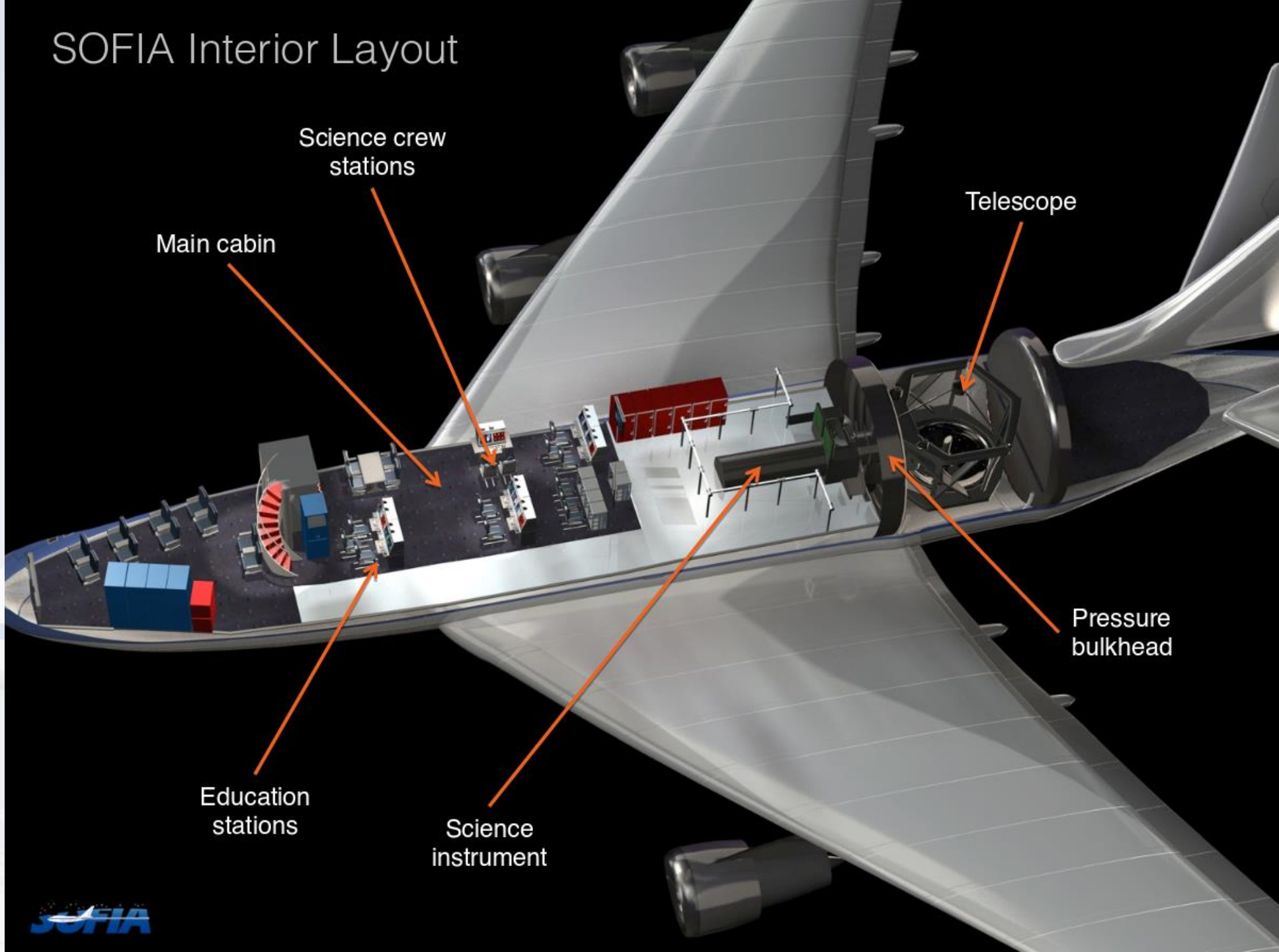
2018

SOFIA

- Boeing 747SP (Special Performance)
- Registrierung **N747NA**
- Baujahr 1977
- Erster wissenschaftlicher Flug 2010
- Regelbetrieb seit 2014, ca. 500 Flüge seitdem
- Missionsdauer: 20 Jahre
- US/Deutsche Zusammenarbeit 80/20



SOFIA Interior Layout



Main cabin

Science crew stations

Telescope

Pressure bulkhead

Education stations

Science instrument



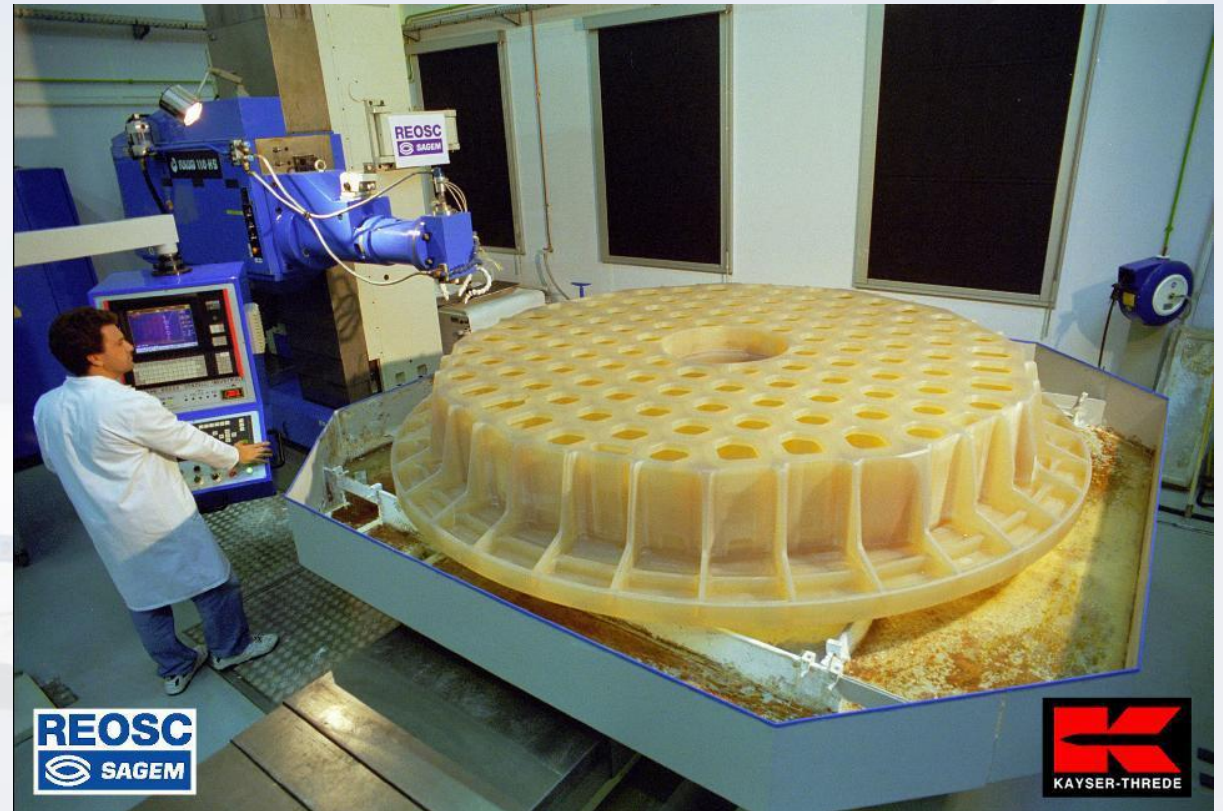
Teleskopspiegel

- Gefertigt von Schott, 1997
- Material: Zerodur (ähnlich Ceran)
 - extrem geringe Wärmeausdehnung
 - Spiegeleigenschaften stabil gegen Temperaturänderungen
- Gewicht des Rohlings: 4 t



Teleskopspiegel

- Gewicht des Rohlings: 4 t
- zu schwer für Betrieb!
- „Leichtgewichtung“ 1999
 - 120 Sacklöcher in die Rückseite des Spiegels gefräst
 - Wabenstruktur
 - Stegbreite teilweise nur noch 7 mm
 - Gewicht: 900 kg!



Quelle: Deutsches SOFIA Institut

Teleskopspiegel

- Politur des Spiegels
 - Dauer: 15 Monate
 - Schliff zu parabolischer Form
 - Es folgt: Beschichtung mit Aluminium



Quelle: Deutsches SOFIA Institut

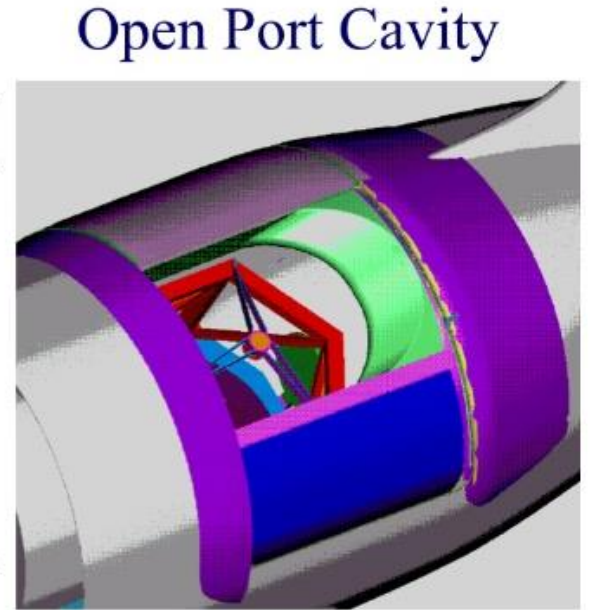
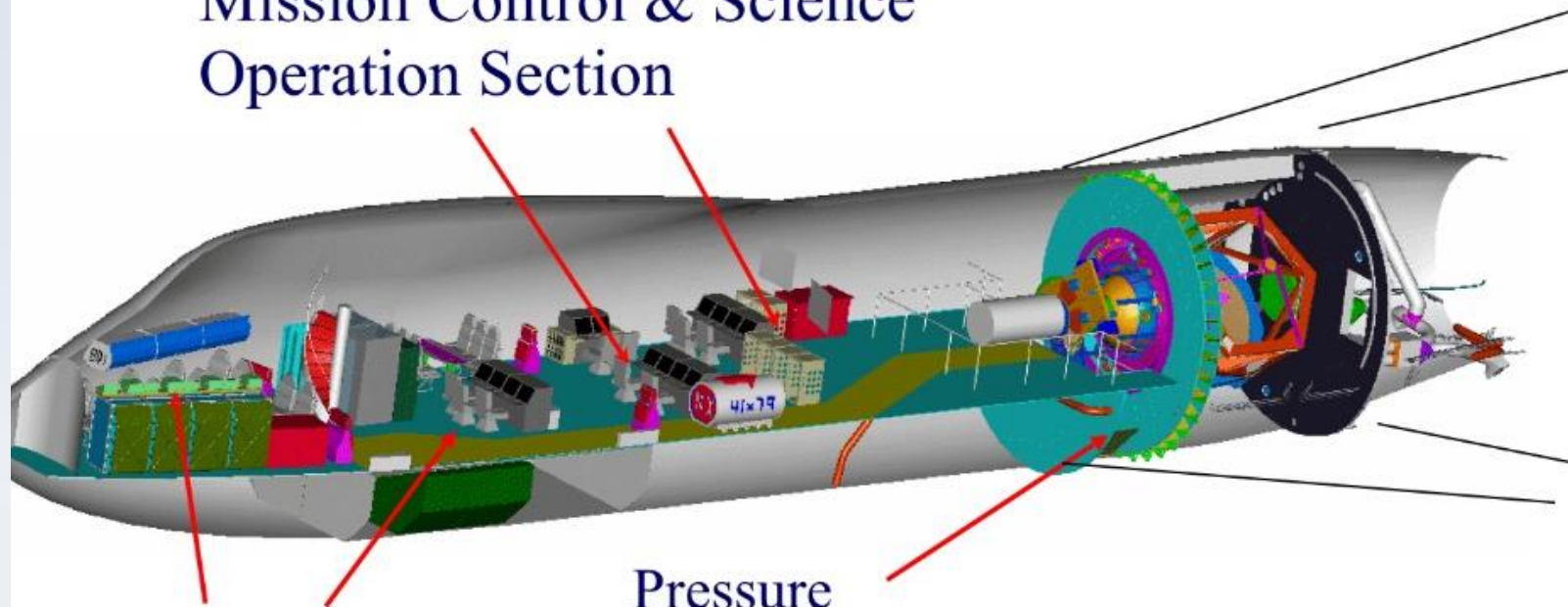
Teleskopspiegel

- Haltestruktur
 - Kohlefaser-verstärktem Kunststoff
 - 2002 fertig



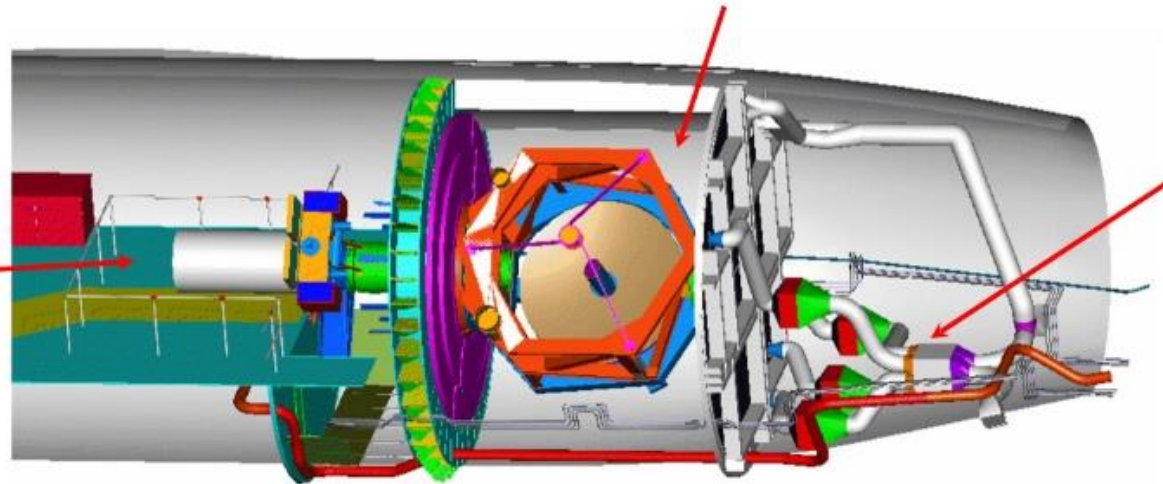
Quelle: Deutsches SOFIA Institut

Mission Control & Science Operation Section



Education & Public Outreach Section

Science Instrument



Pressure Bulkhead

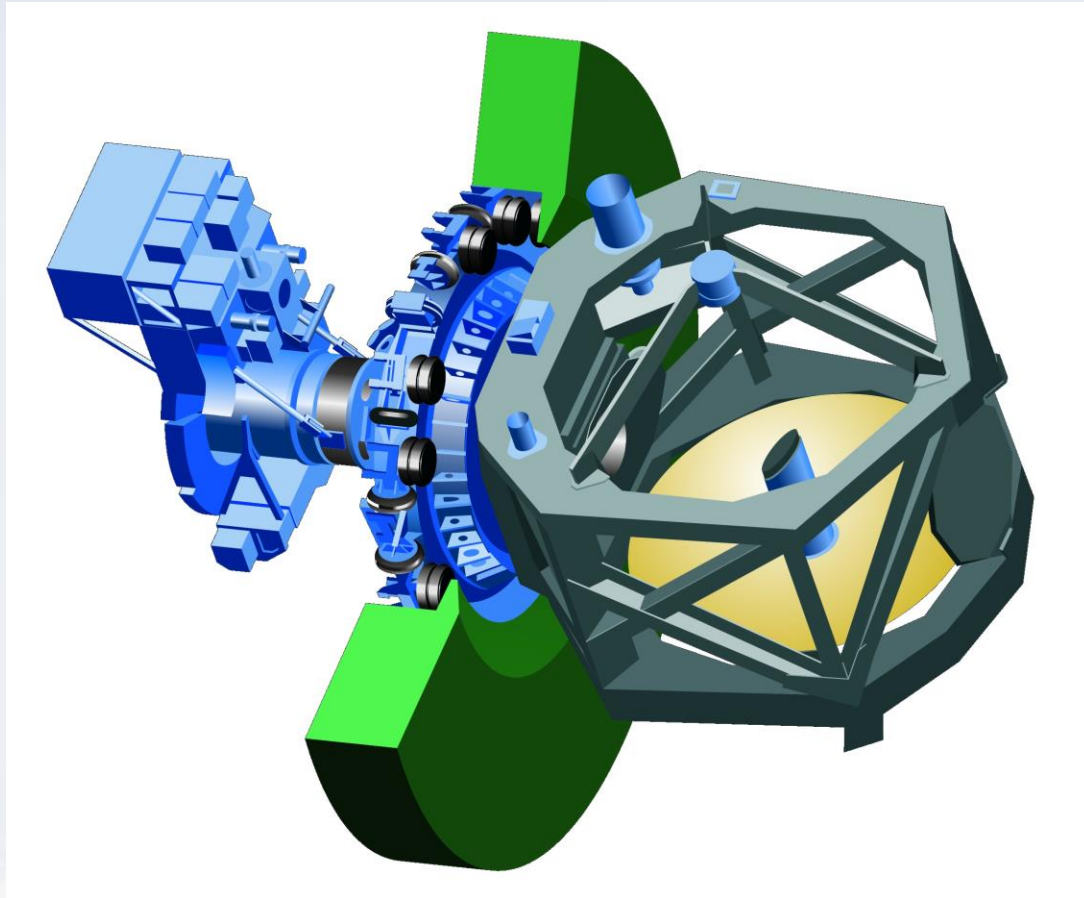
Telescope 2.7m

Telescope Cavity Door

Cavity Environmental Control System

Quelle: NASA/DLR

Teleskop



- Teleskop:

- Primärspiegel
 - 2.7 Meter Durchmesser
 - $\lambda > 0.3 \mu\text{m}$
- Pointing Genauigkeit $\sim 1''$
 - Beugungslimitiert für $\lambda > 20 \mu\text{m}$
- Chopper: $10'$ bei 2 Hz
- Optik bei Umgebungstemperatur $\sim 240\text{K}$
- Gewicht: 17 t
- Blendenzahl $L f/19.6$

CABIN

TELESCOPE CAVITY

Counterweight

Shock absorber

Bearing

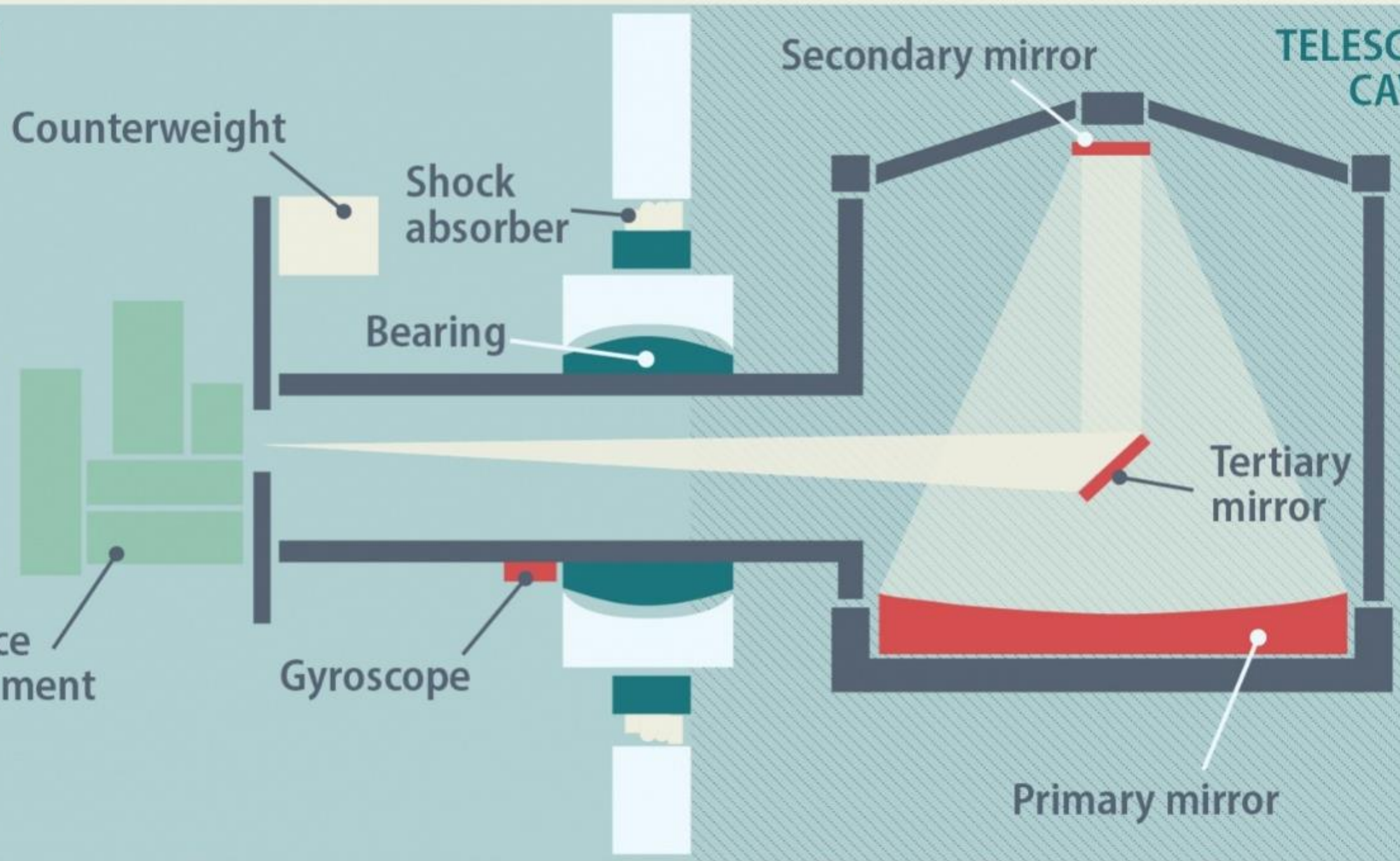
Secondary mirror

Tertiary mirror

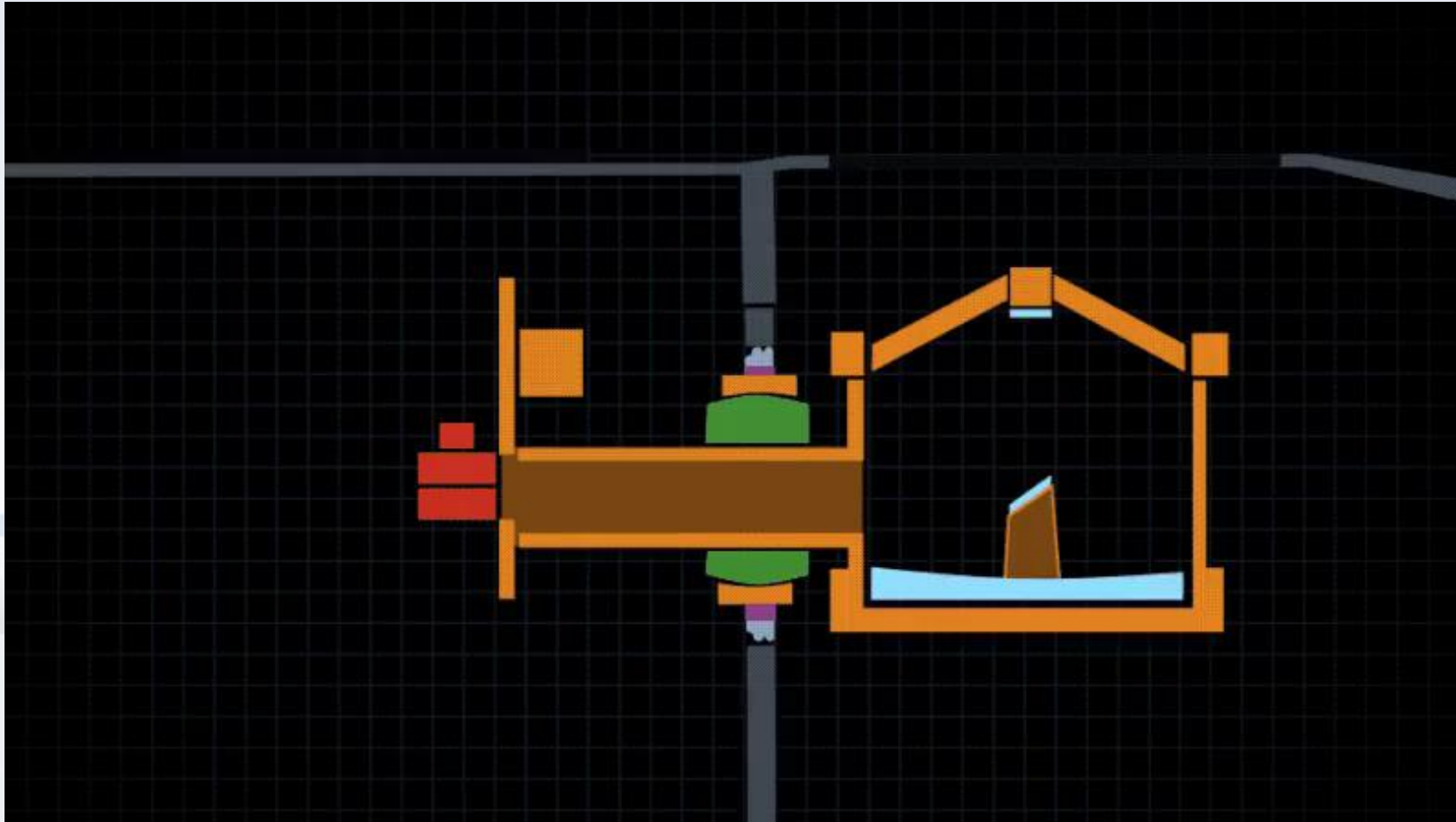
Science instrument

Gyroscope

Primary mirror



SOFIA - Teleskopaufhängung



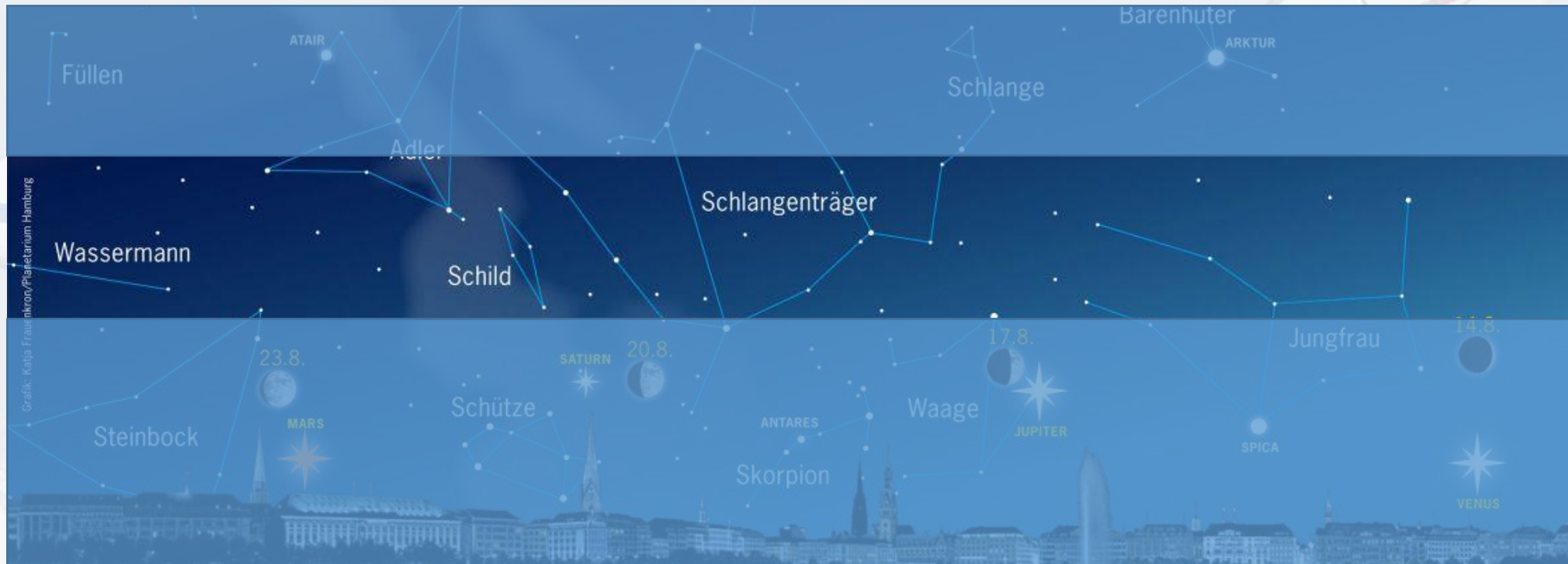
Betrieb

- Flexibel, weltweit einsetzbar (Südhimmel von Neuseeland)
- SOFIA Flight Operations Center
 - Armstrong Flight Research Center Dryden, Palmdale, CA
- Typische Flugzeit 10 Std. (immer nachts)
- Im Jahr ca. 100 wissenschaftliche Flüge



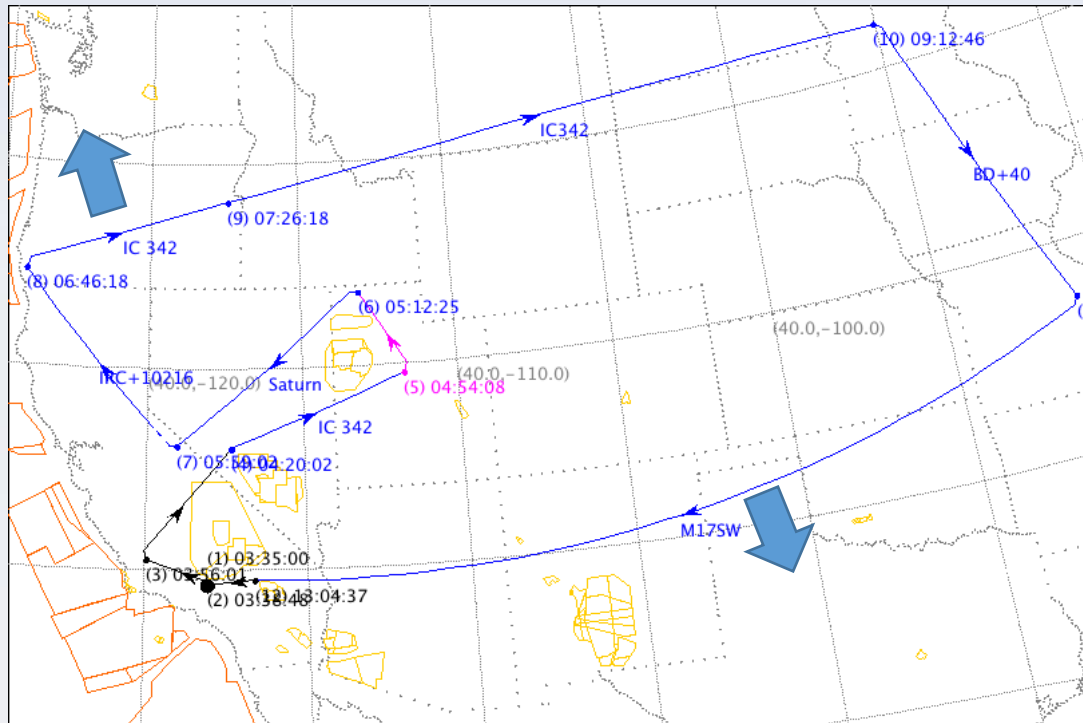
Flugplanung

- Blickrichtung des Teleskops: Backbord
- Freiheit in Azimuth: $\pm 3^\circ$
- Freiheit in Elevation: 20° - 60°



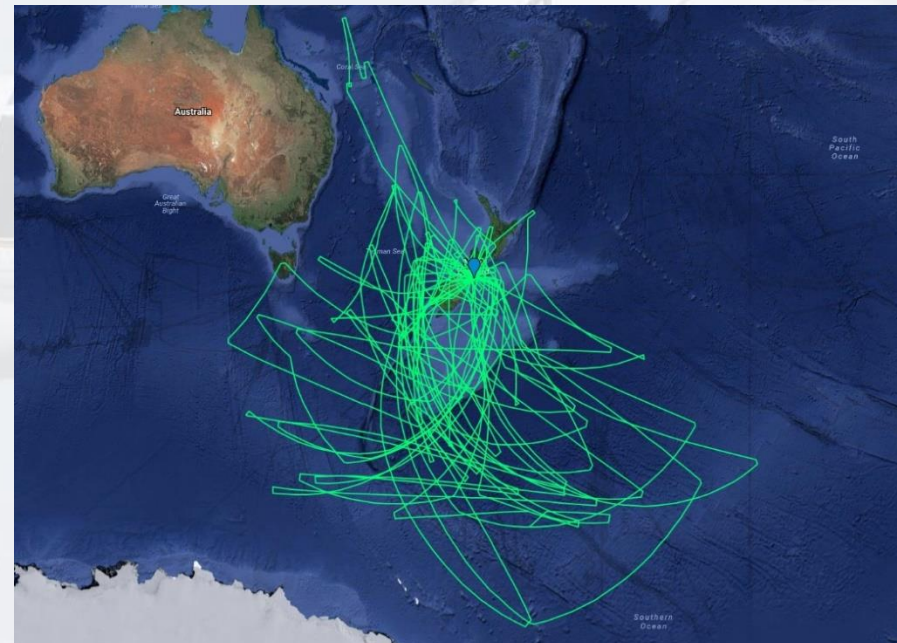
Quelle: Planetarium Hamburg

Flugplanung



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

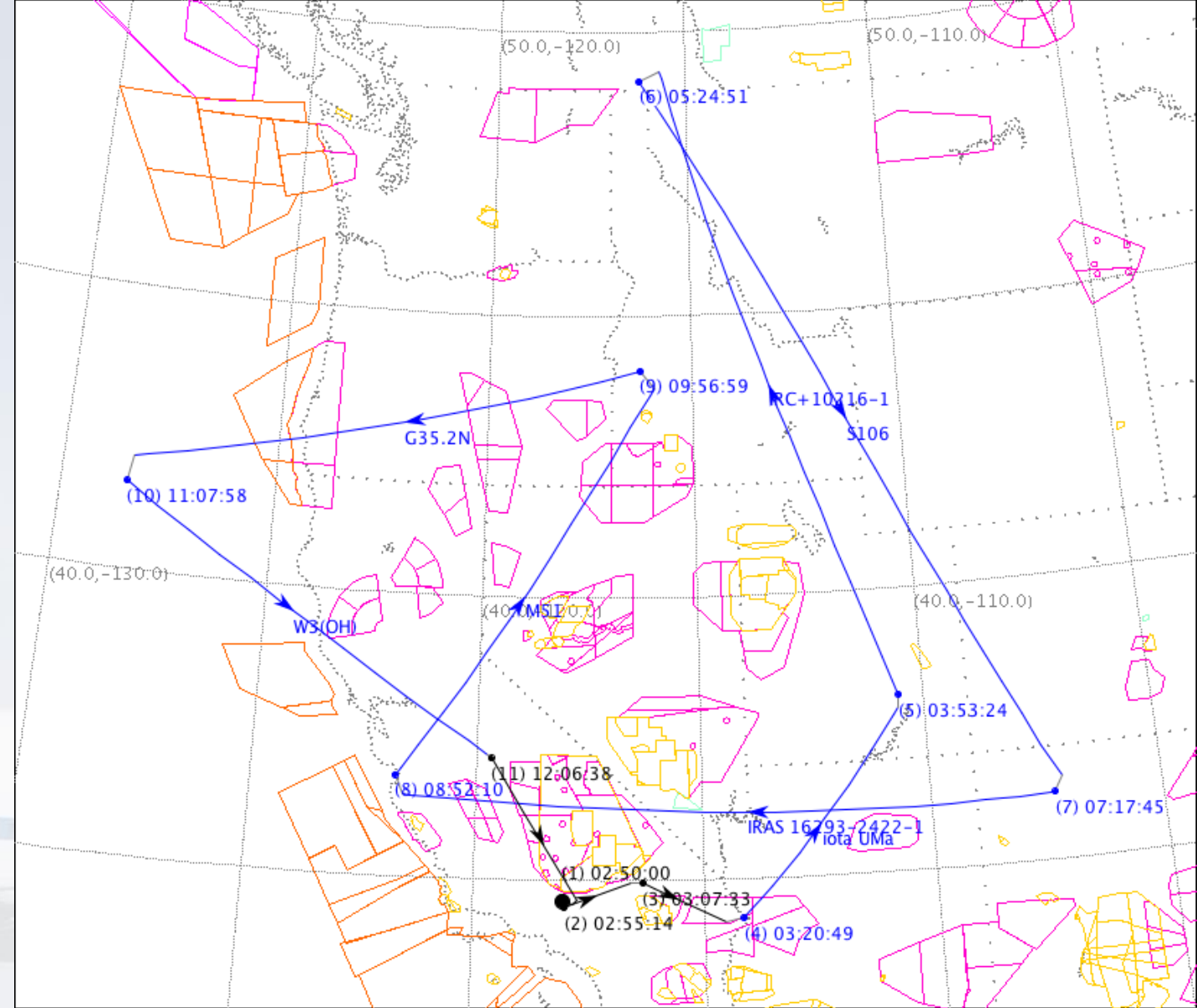
- Blickrichtung des Teleskops: Backbord
- Freiheit in Azimuth: $\pm 3^\circ$
- Freiheit in Elevation: 20° - 60°



2018: Flüge in Neuseeland

Flugplanung

- Geschlossene Flugwege
- Länge der „legs“ richtet sich nach Beobachtungszeit.
- Nicht in Richtung Sonne beobachten
- Wissenschaftliche Qualität der Anträge
- Politische Regeln
- Luftverkehrsregeln
- Hemisphäre/Saison



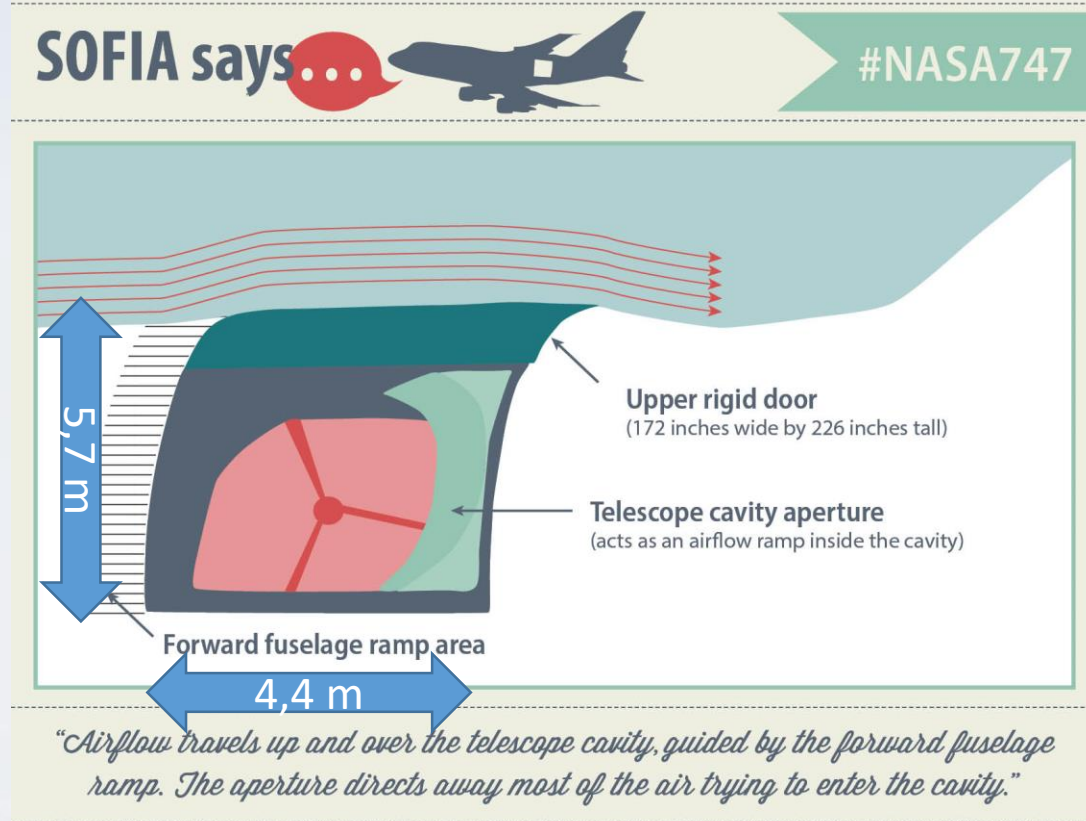
Flight Plan Name: File: 201505_GR_04_WX12.fp
Flight ID: 2015/05/22
Est. Takeoff Time: 2015-May-22 02:50 UTC
Est. Landing Time: 2015-May-22 12:35 UTC
Flight Duration: 09:45
Weather Forecast: 1200 Thu May 21 2015 - 0000 Sun May 24 2015 UTC
Forecast Timestamp: 0445 Thu May 21 2015 UTC
Saved: 2015-May-21 12:31 UTC User: kbower

Das Teleskop muss noch in das Flugzeug



Quelle: Deutsches SOFIA Institut

Das Problem mit der Tür

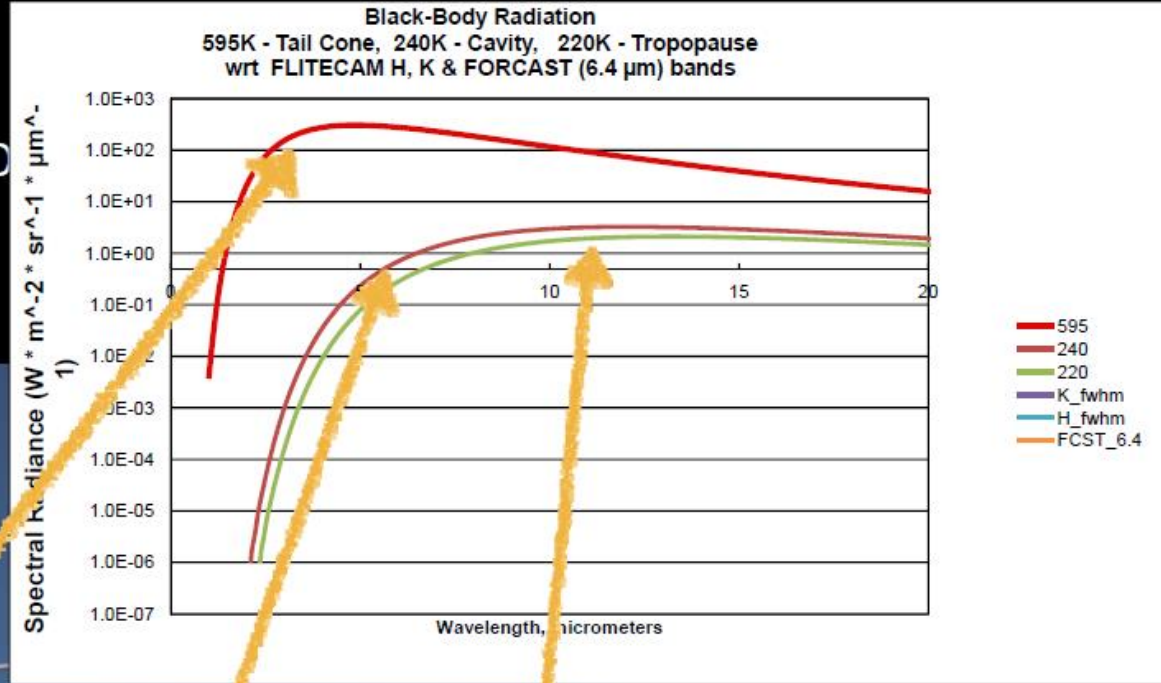
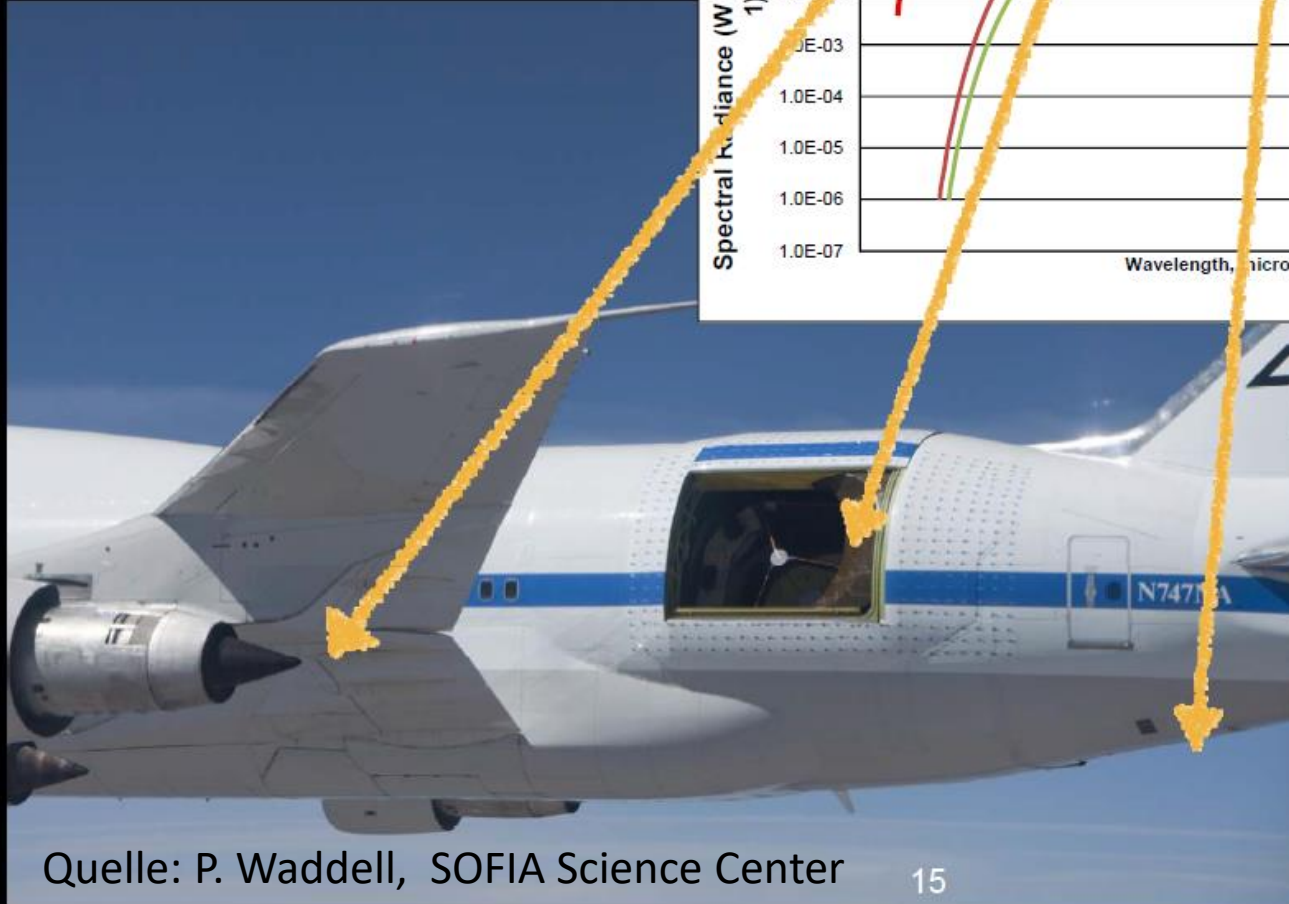


Quelle: NASA/SOFIA/USRA/ASP/L. Proudfit

- Spiegel extrem empfindlich
- Tür muss Dicht schließen
 - Problem: Flugzeugrumpf dehnt sich im Flug (Überdruck!)
- Tür muss garantiert schließen
 - Landung mit offener Tür absolut keine Option
 - Problem: Eisbildung im Flug
- Reduzierung von Streulicht

STRAY LIGHT BACKGROUND IN CRUISE

SELECTED BACKGROUND SOURCES



WARM EARTH &
ATMOSPHERE

WARM CAVITY &
TELESCOPE

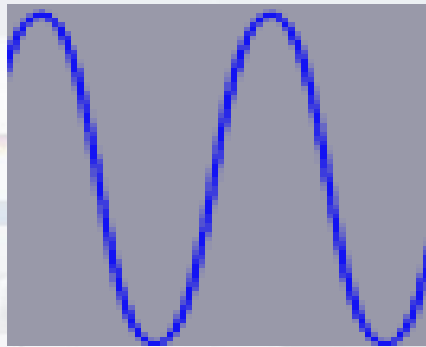
HOT ENGINE &
PLUME

S Stratosphären-
O Observatorium
F für
I **INFRAROT**
A **ASTRONOMIE**

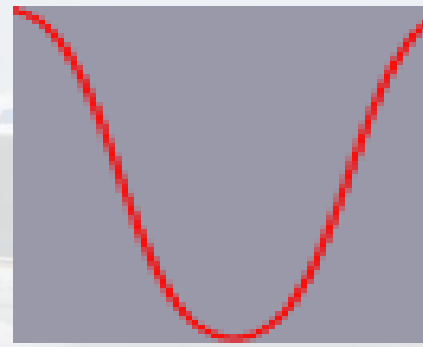


Infrarot ?

- Eine Eigenschaft dieser Wellen ist ihre Wellenlänge, bzw. ihre Frequenz.

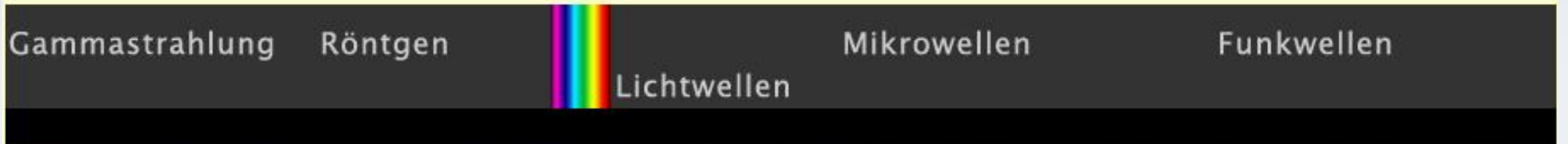


kurze Wellenlänge
=
hohe Frequenz



lange Wellenlänge
=
niedrige Frequenz

Infrarot ?



Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung



Spektrum des sichtbaren und nicht sichtbaren Lichts



Spektrum des sichtbaren Lichts

Infrarot ?

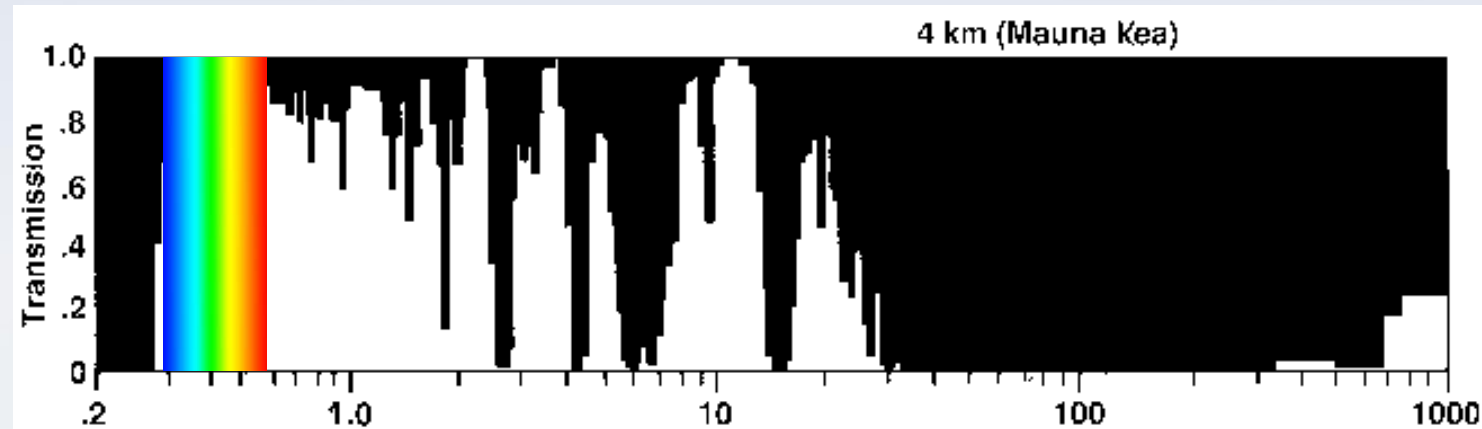


Courtesy of Dr. A. Dominic Fortes, Earth Sciences

Stratosphären-Observatorium?

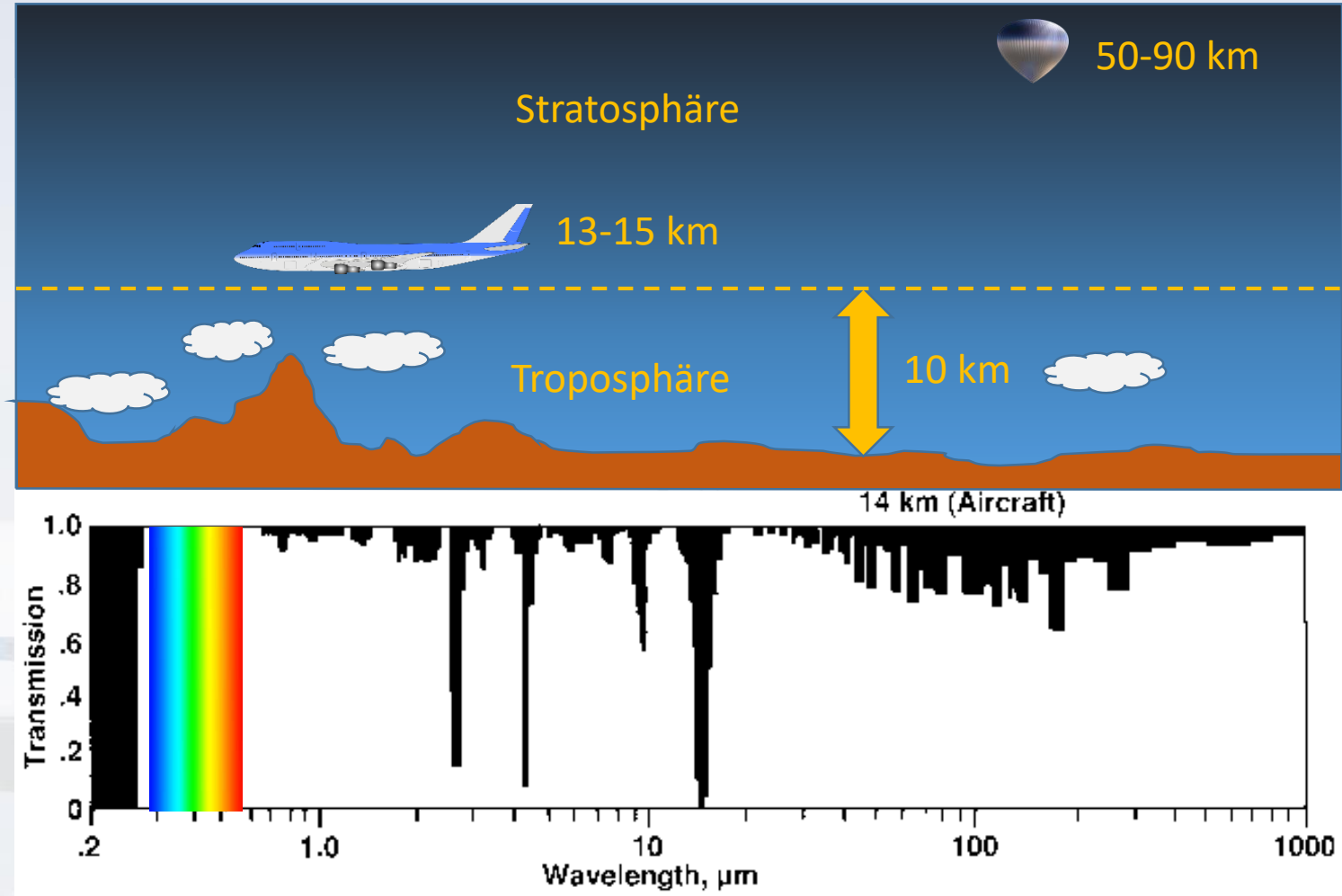
- Atmosphäre ist nicht gleich durchsichtig bei allen Wellenlängen
- Hauptgrund Absorption durch atmosphärischen:
 - Wasserdampf
 - Ozon, O_2
 - CO_2 , CH_4 , Stickoxide
- Konzentration nimmt mit der Höhe ab

schwarz = undurchsichtig



Stratosphären-Observatorium?

- Atmosphäre ist nicht gleich durchsichtig bei allen Wellenlängen
- Hauptgrund Absorption durch atmosphärischen:
 - Wasserdampf
 - Ozon, O_2
 - CO_2 , CH_4 , Stickoxide
- Konzentration nimmt mit der Höhe ab



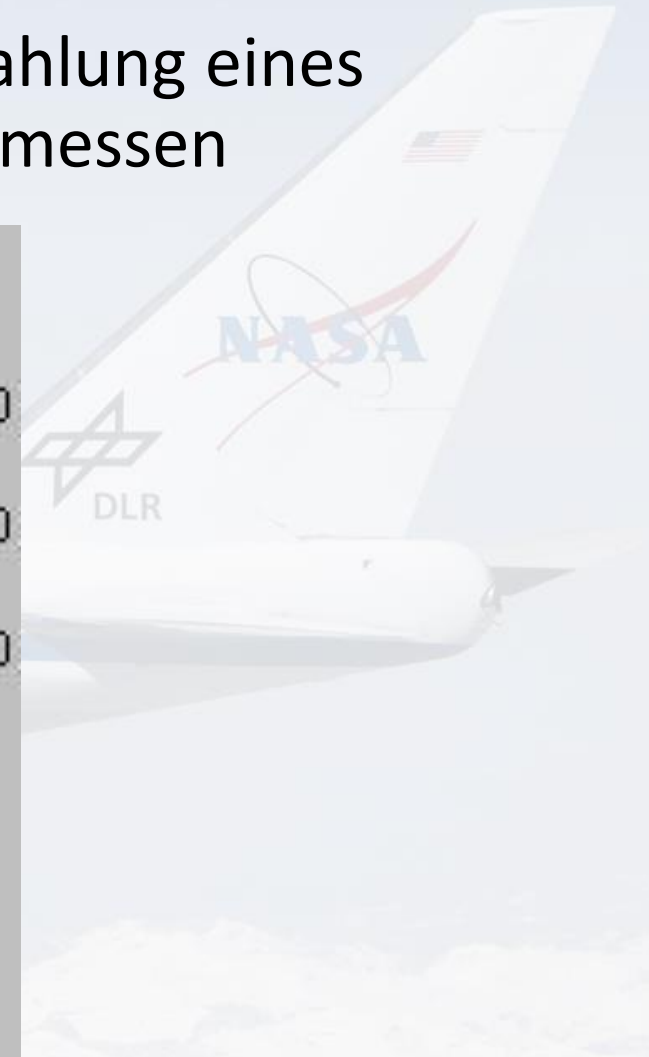
Farbe = Wellenlänge

- Körper, die kälter als 400°C sind, strahlen nicht im optischen Spektralbereich sondern im Infraroten.



Farbe = Wellenlänge

- Mit einer Infrarotkamera kann man die Wärmestrahlung eines Körpers aufnehmen, und damit seine Temperatur messen



Sub-mm → Temperatur ?

- optische Strahlung

6000 K

- mittleres Infrarot

60-600 K

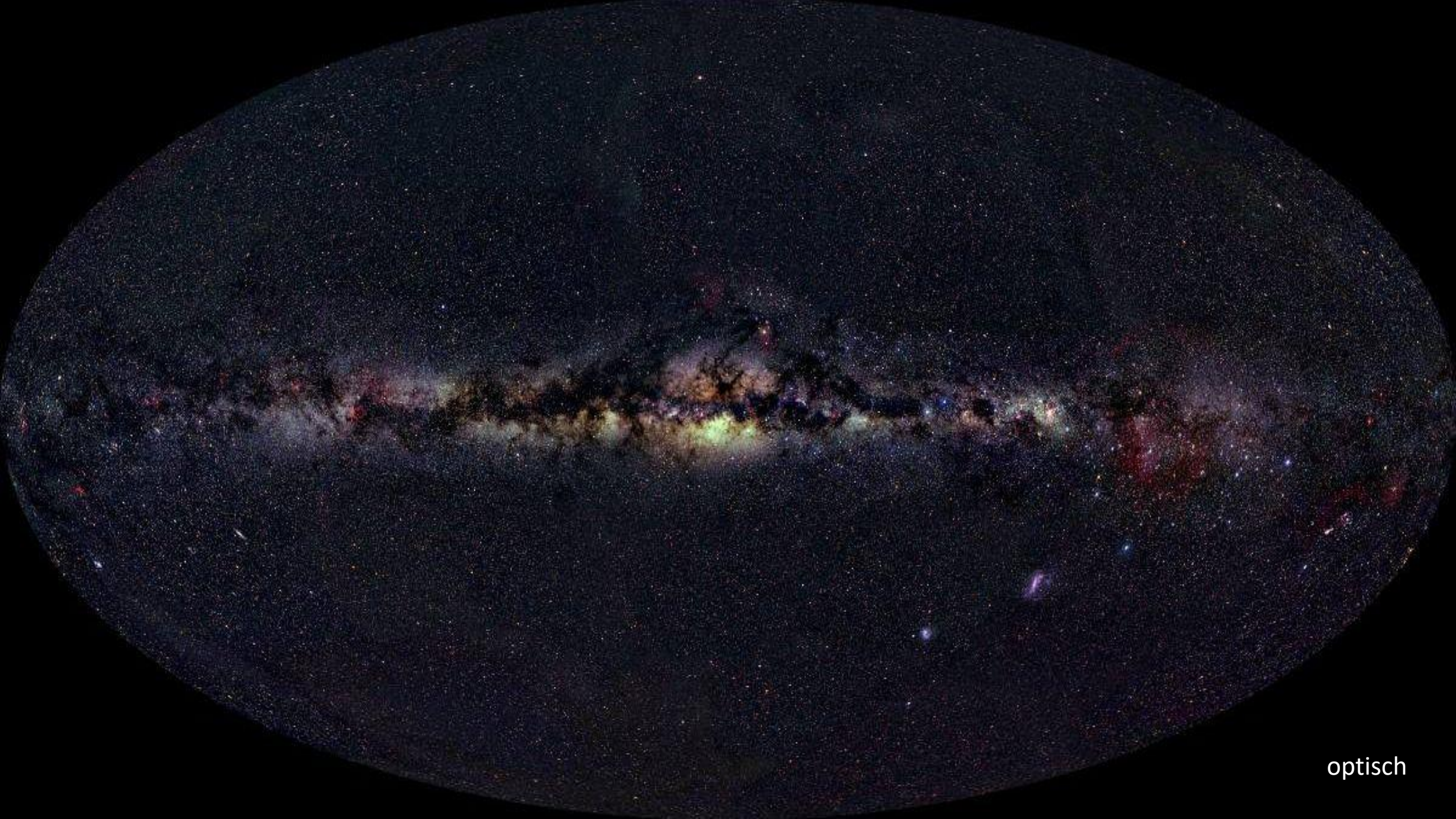
- fernes Infrarot

60-30 K

- sub-mm

3-20 K

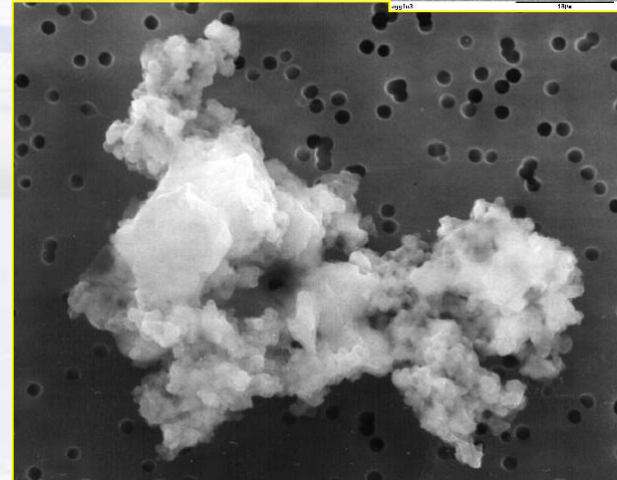
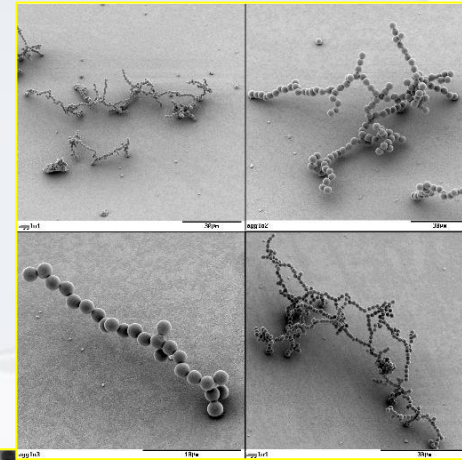
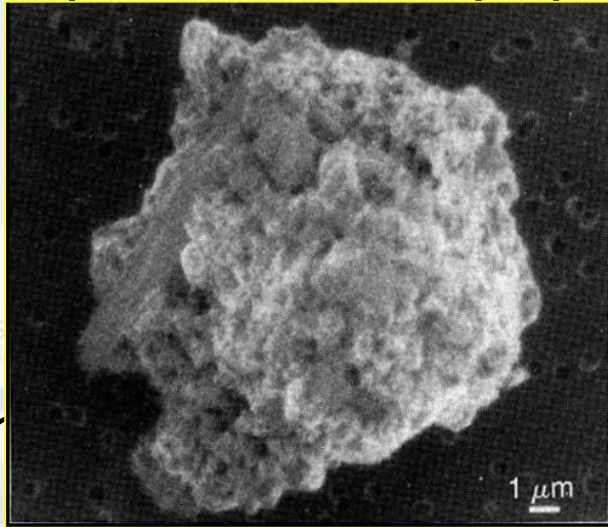




optisch

ISM

- Atomares Gas (optische Teleskope)
- Moleküle (Radioteleskope)
- Staub



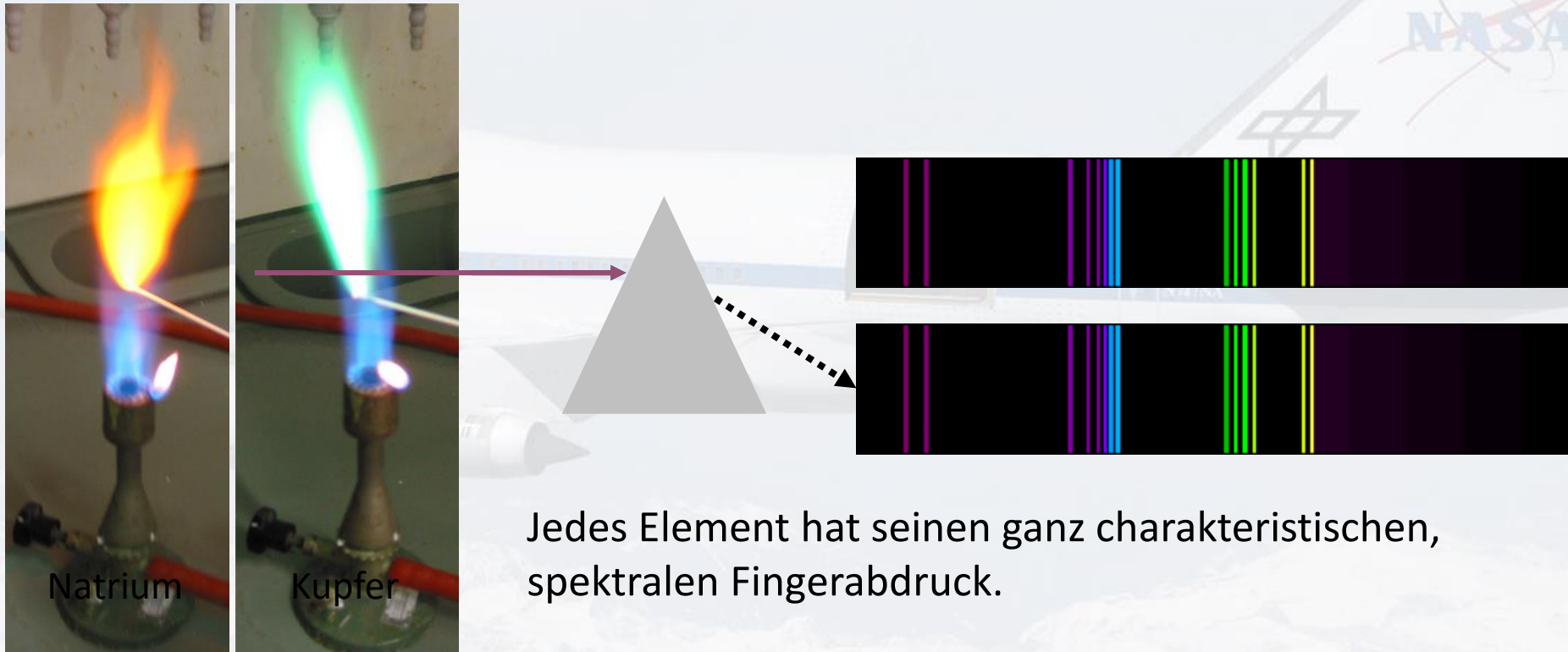
Wie kann

Staub absorbiert kurzwellige Strahlung



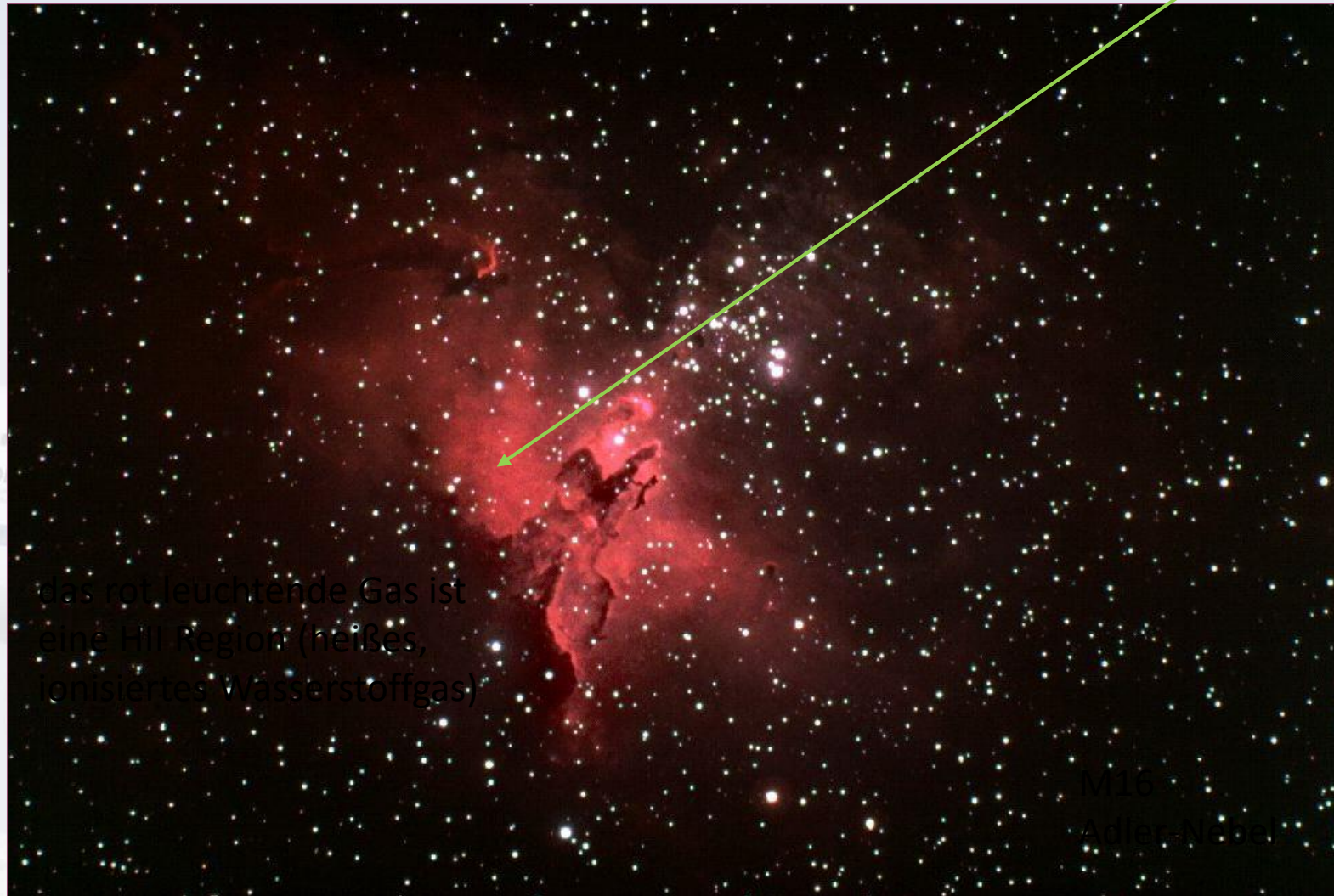
Absorption und Emission

Führt man Atomen Energie zu, strahlen sie diese bei charakteristischen Wellenlängen wieder ab.



Emissionsspektren

Wasserstoff



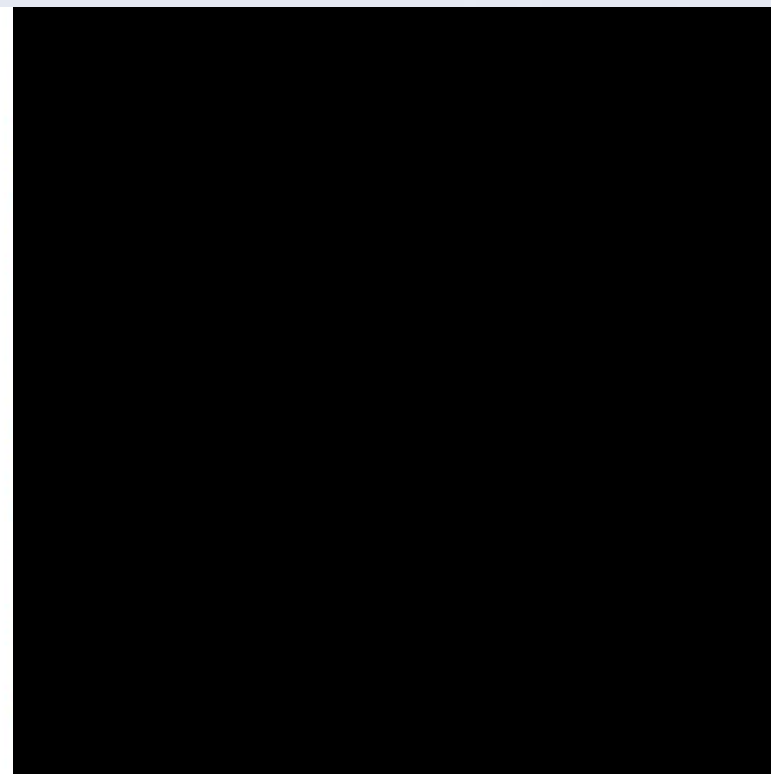
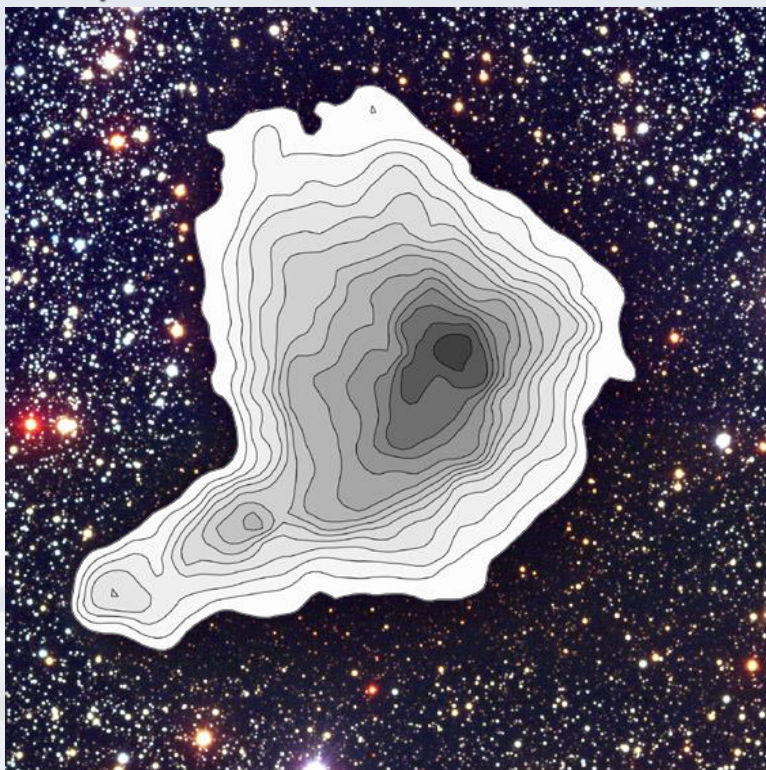
das rot leuchtende Gas ist
eine HII Region (heißes,
ionisiertes Wasserstoffgas)

(Un)durchsichtiger Staub

optisch

Radio

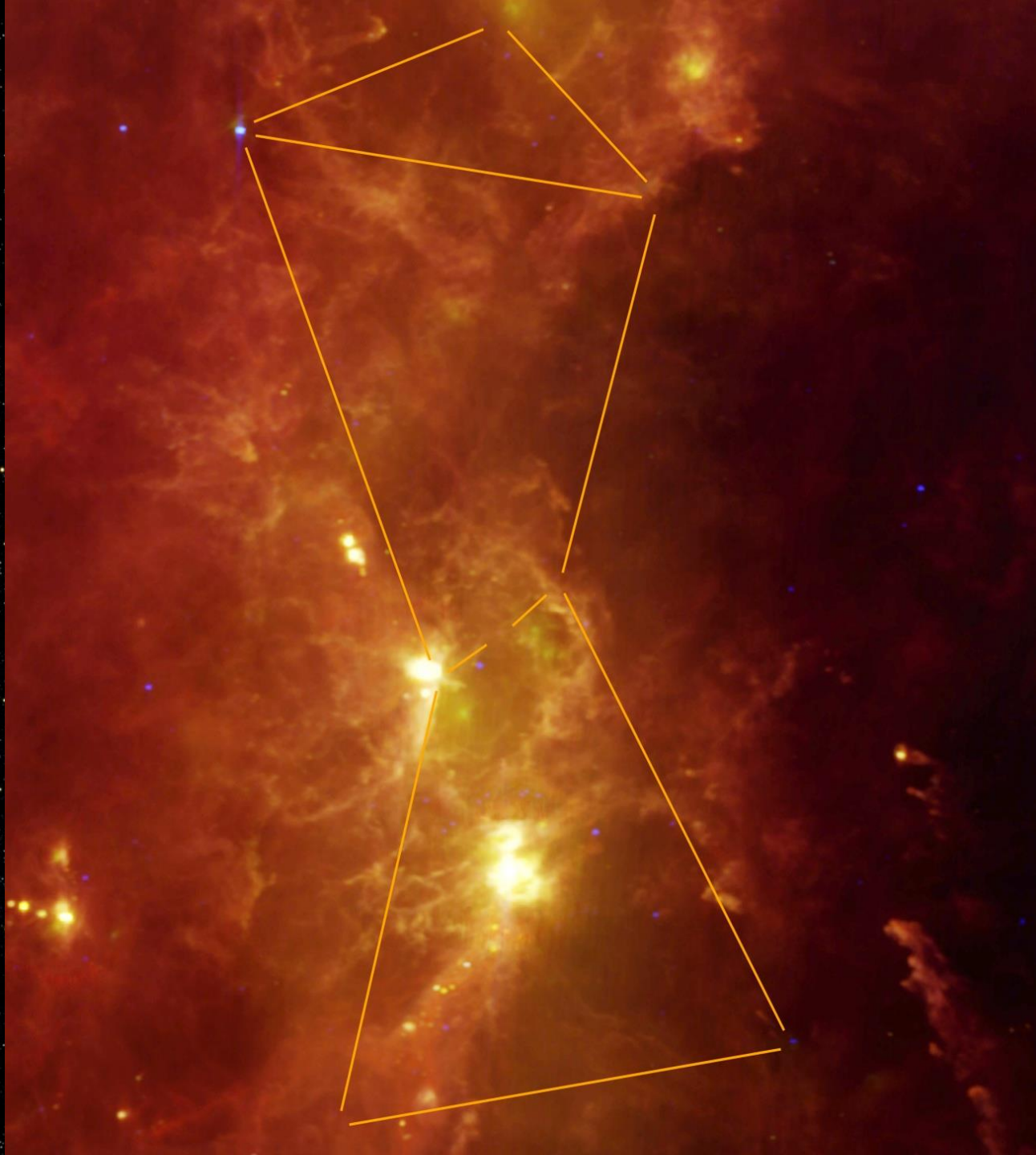
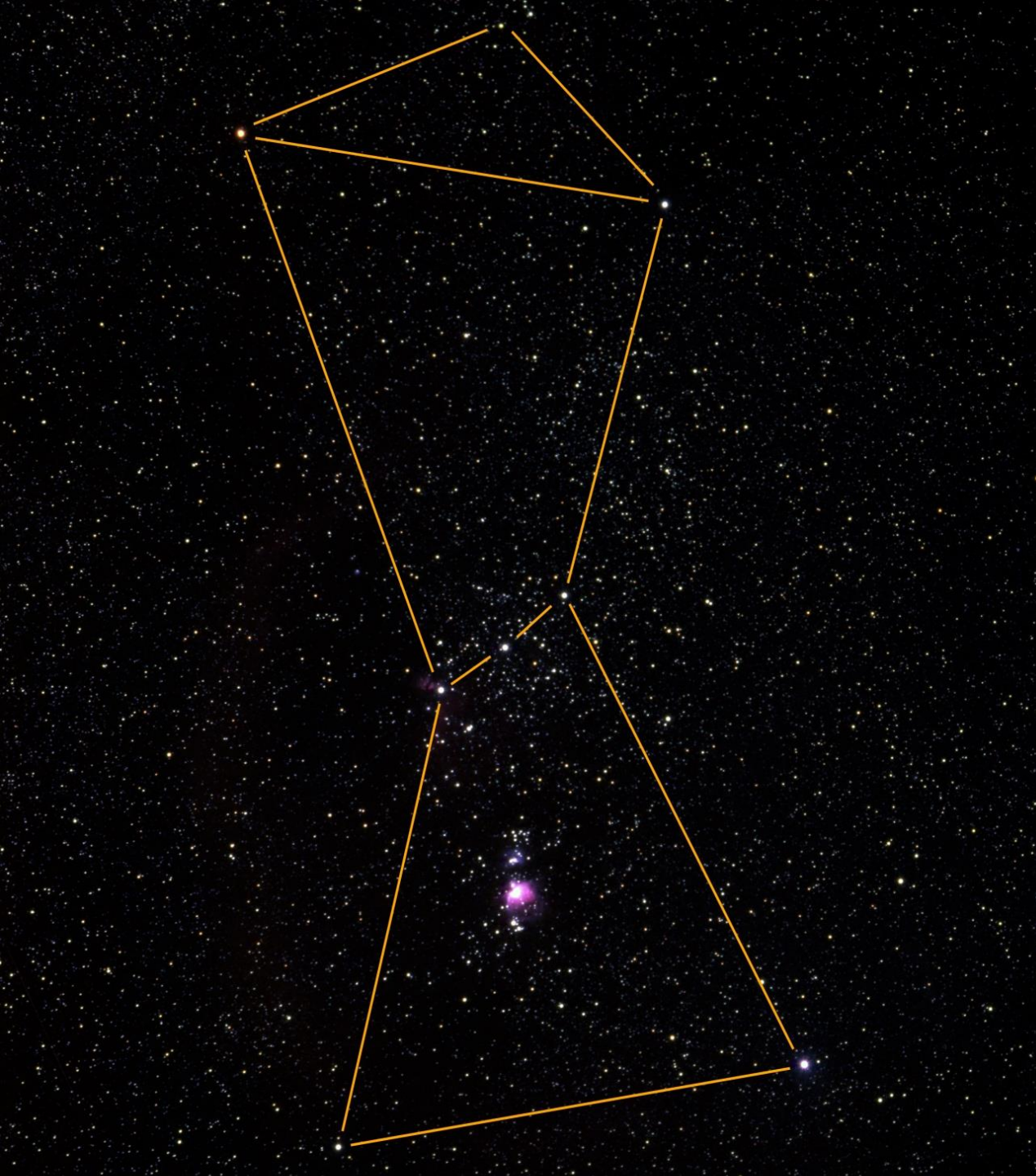
infrarot



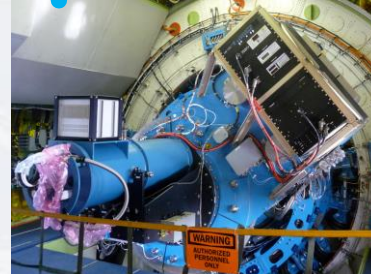
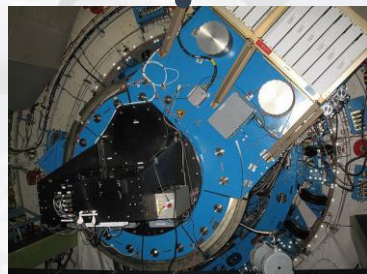
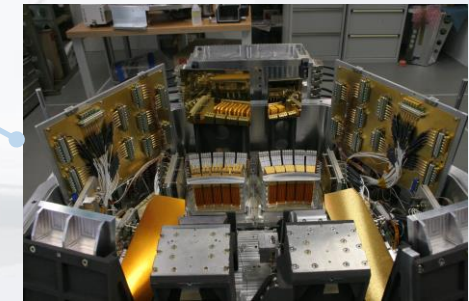
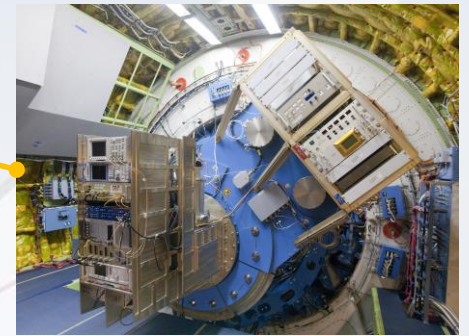
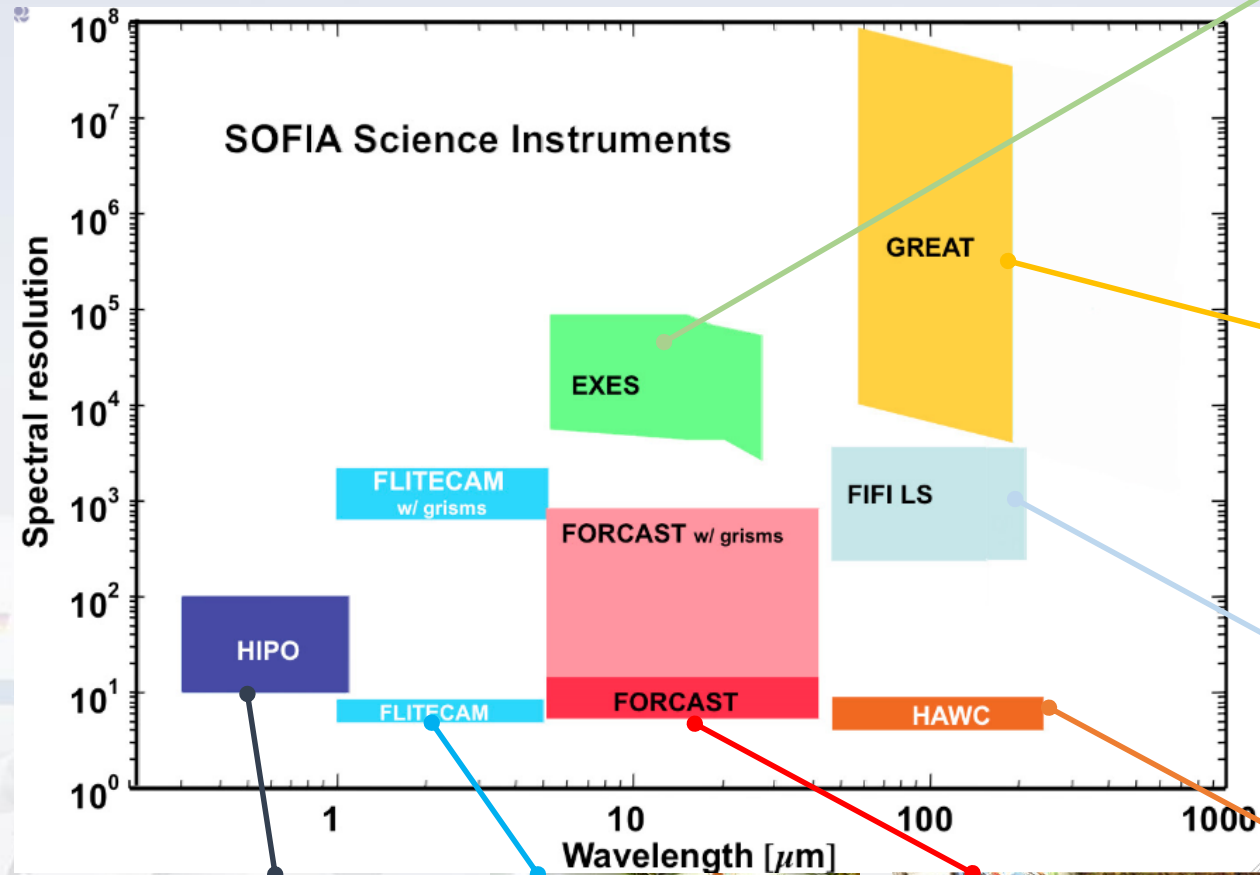
B, V, I

B, I, K

Pre-Collapse Black Cloud B68 (comparison)
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)



Instrumente auf SOFIA

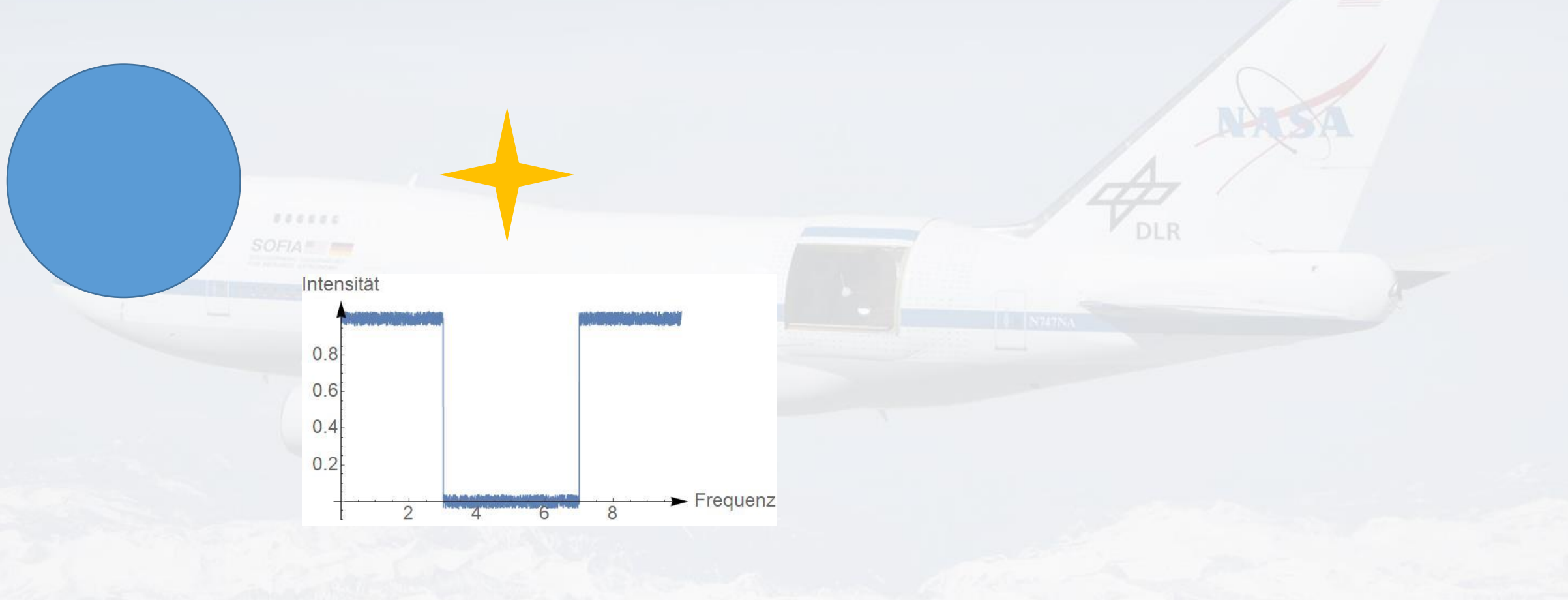
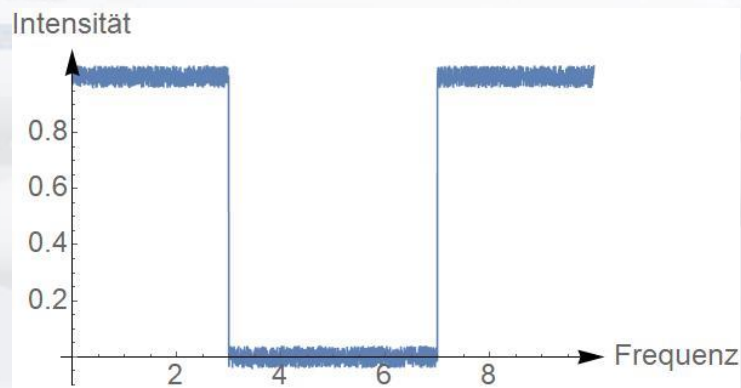
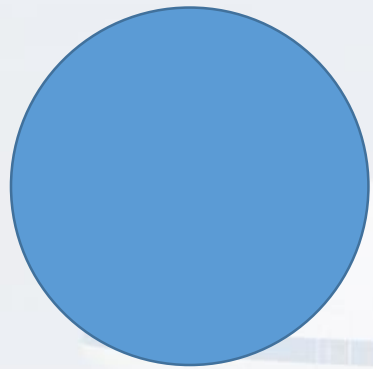
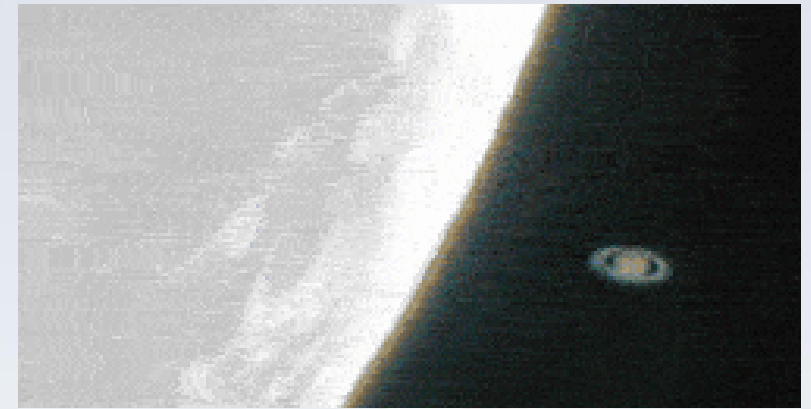


SOFIA

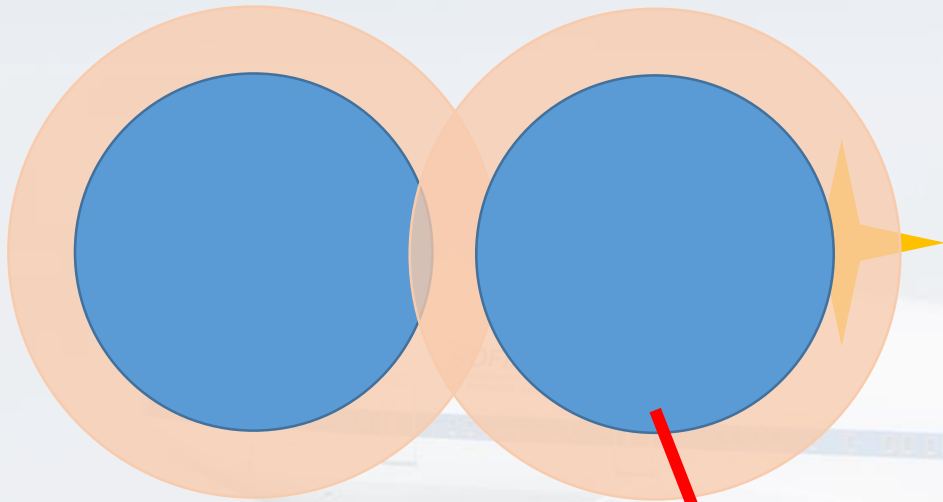
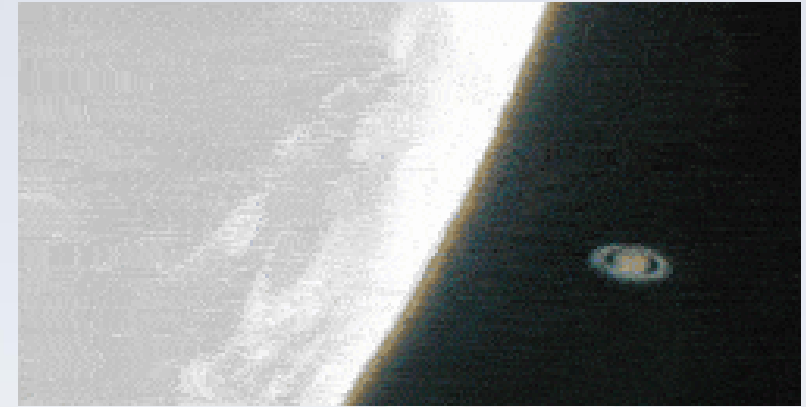
Wissenschaftliche Highlights



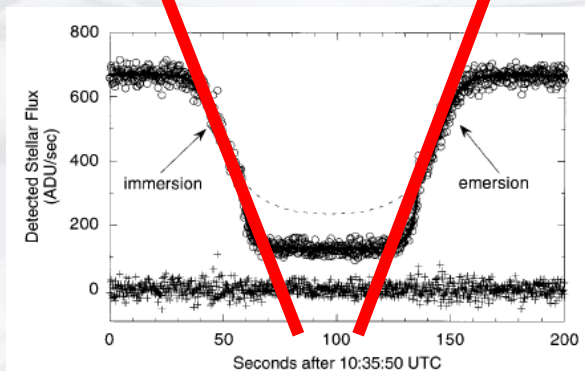
Okkultationen - Bedeckungen



Okkultationen - Bedeckungen



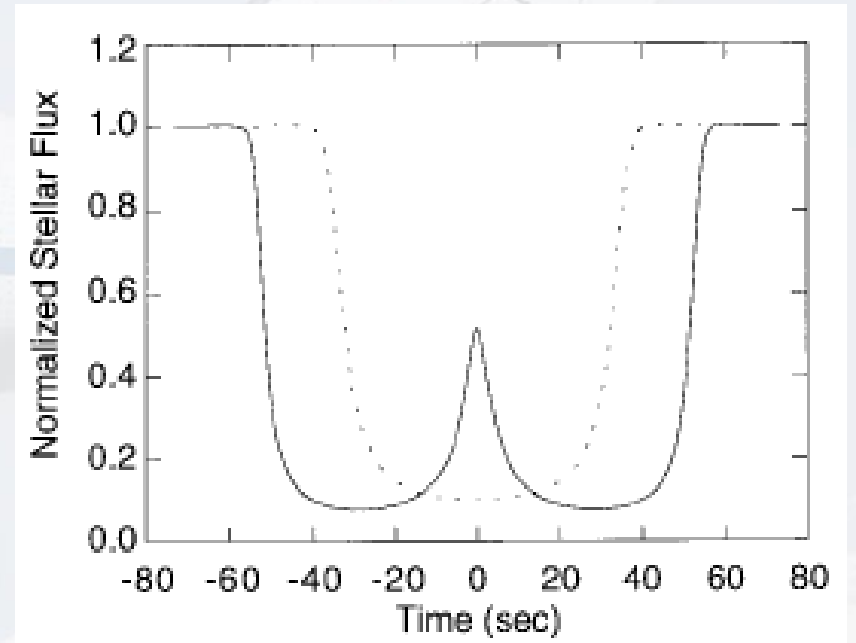
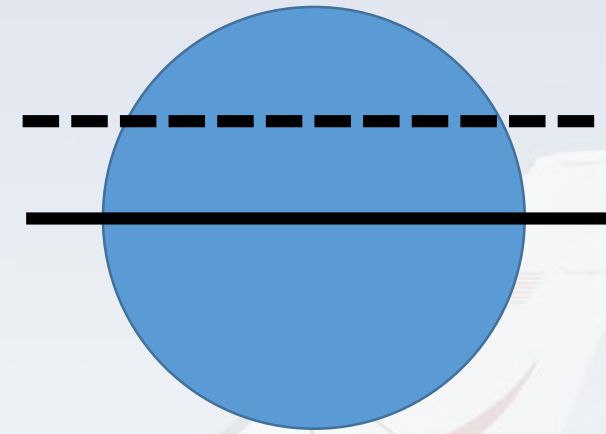
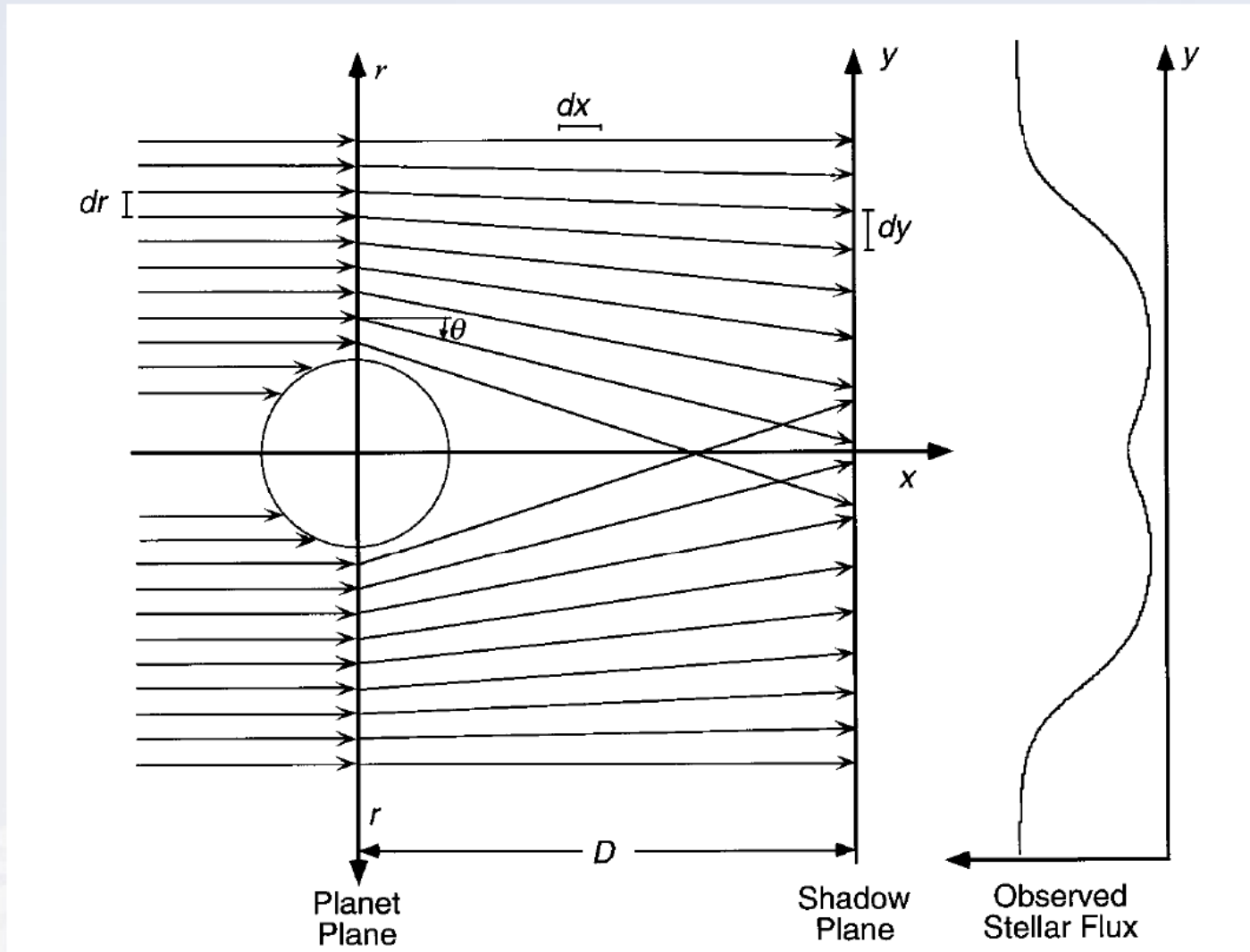
Signatur der Atmosphäre
des Planeten



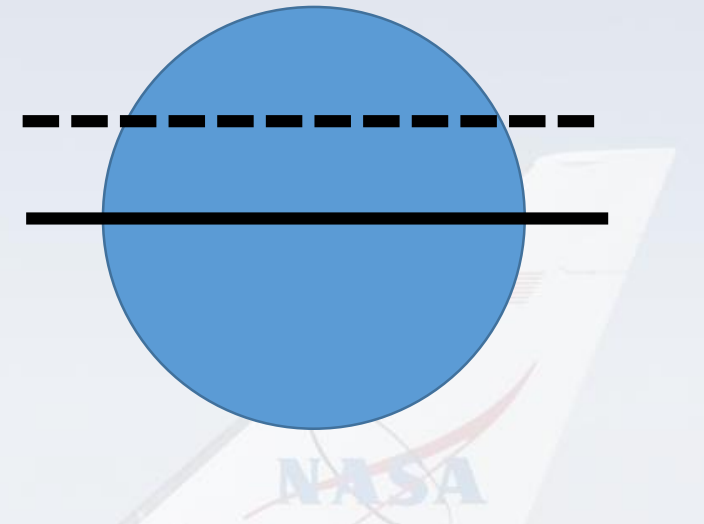
Elliot & Olkin 2003

Okkultationen - Bedeckungen

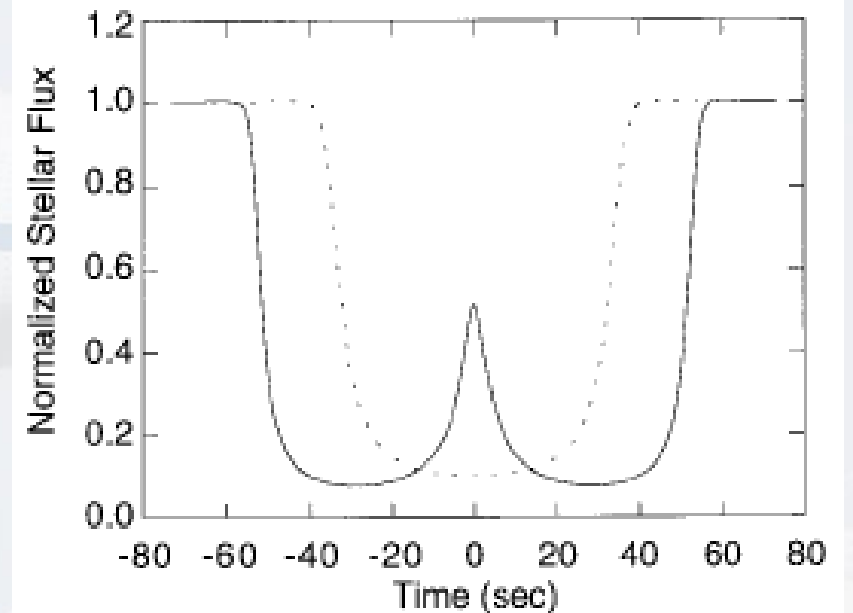
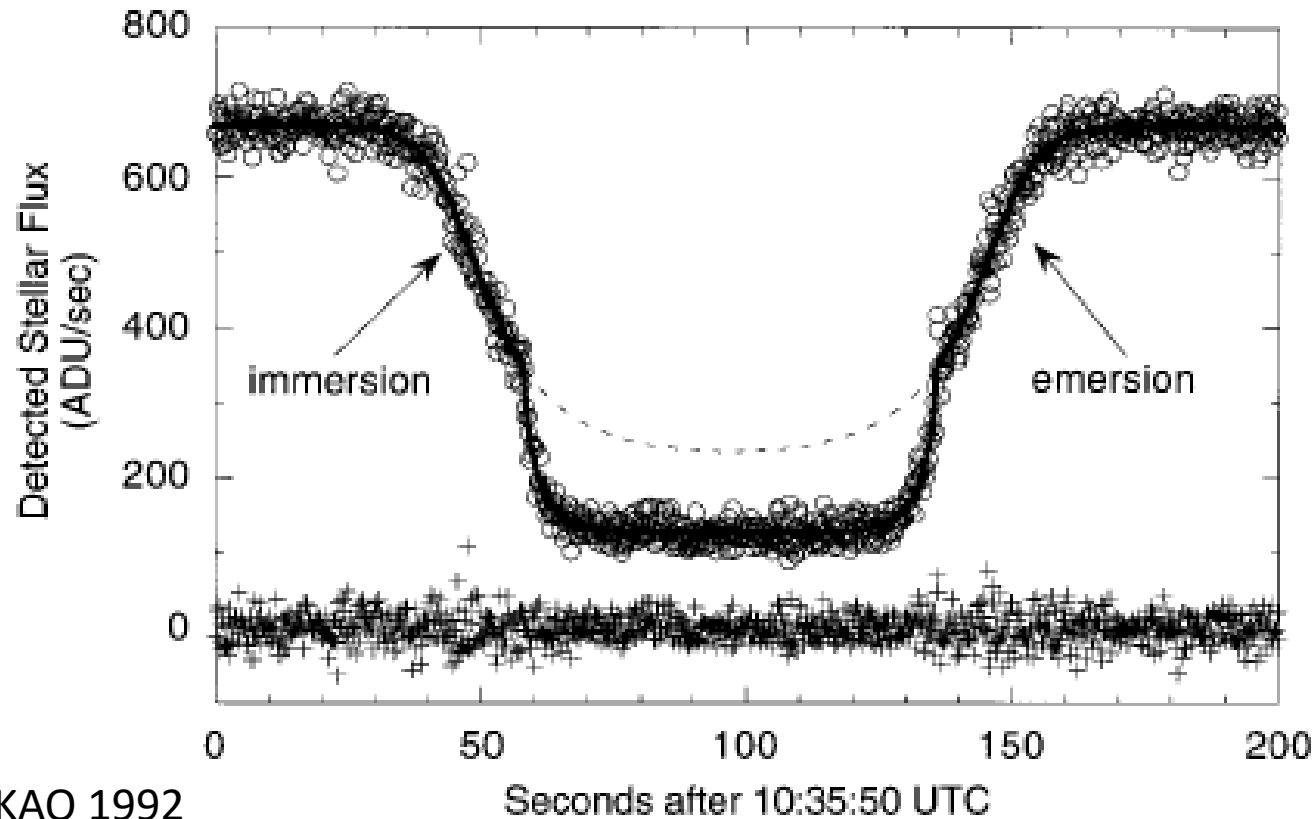
Lichtbrechung durch Atmosphäre



Okkultationen - Bedeckungen



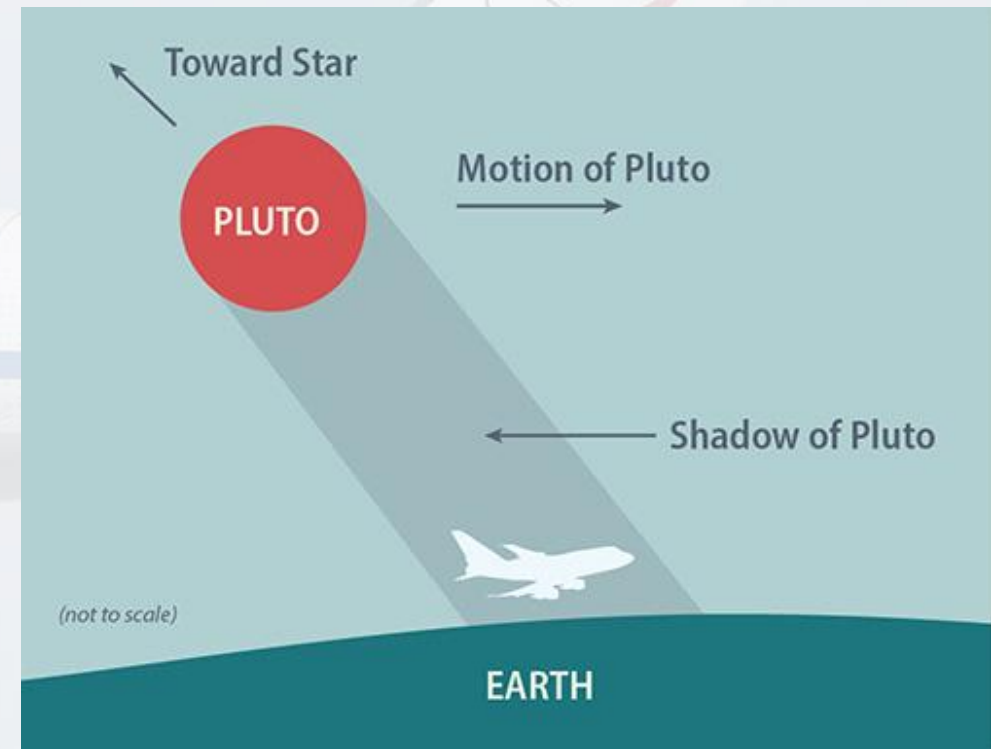
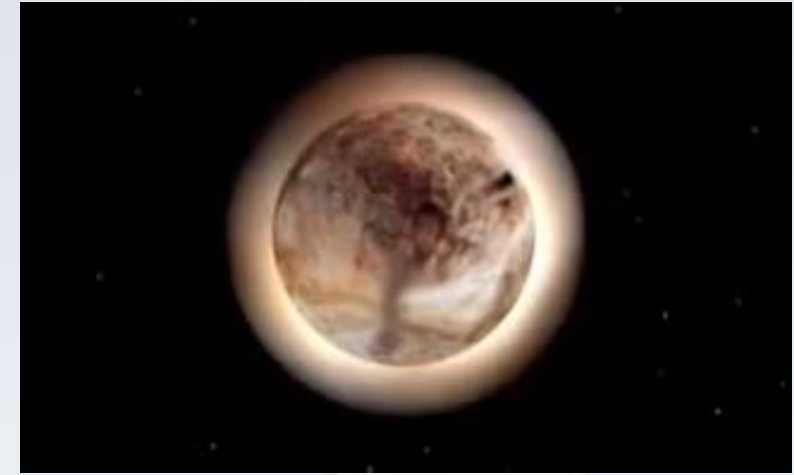
Pluto



KAO 1992

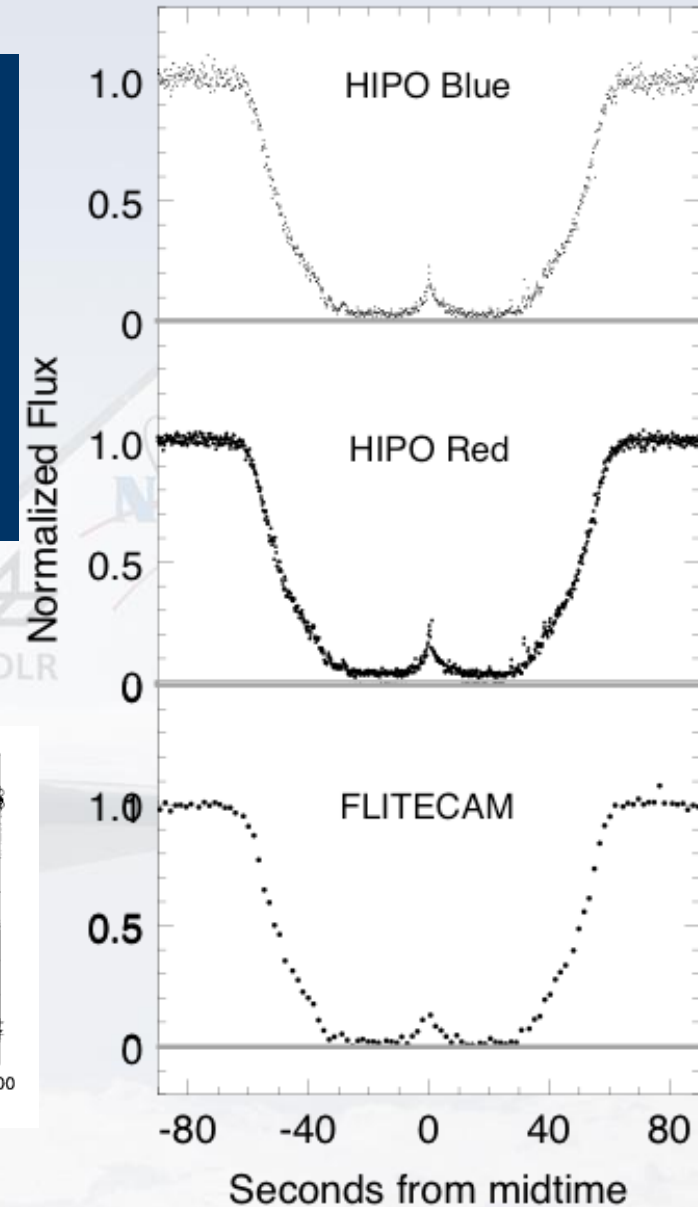
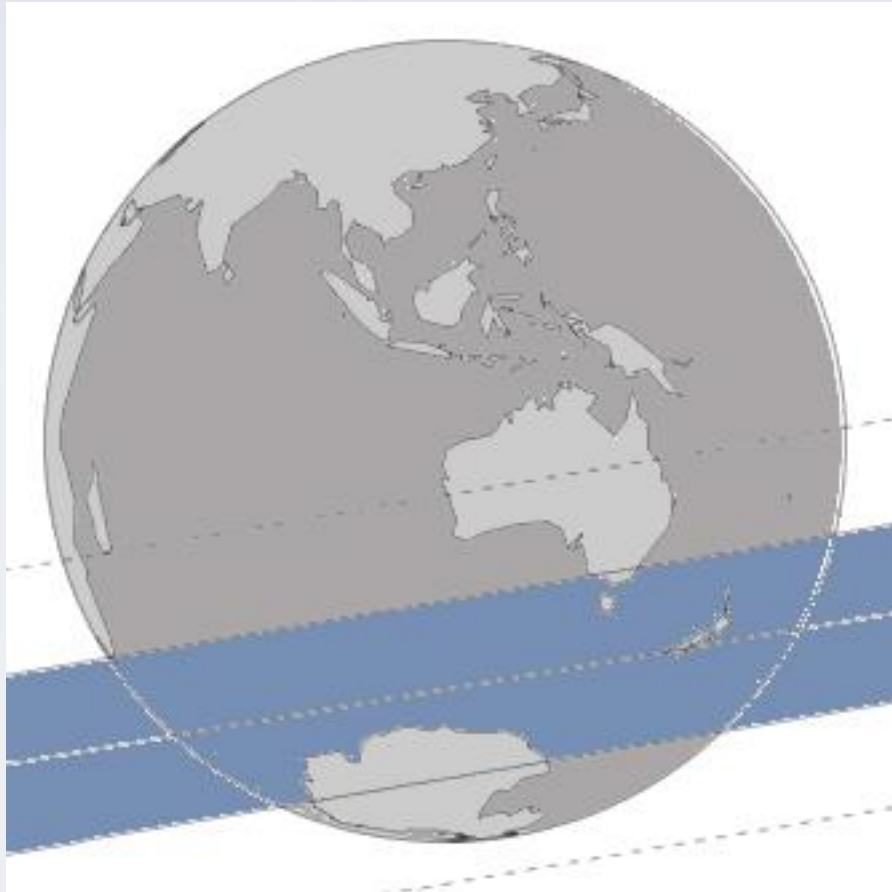
Pluto Okkultation

- HIPO (High Speed Imaging Photometer for Occultations)
- Hochgeschwindigkeits-Kamera (0.3–1.1 μm) im sichtbaren Licht
- in Kombination mit FLITECAM
- Hauptanwendungen: Sternbedeckungen
- Oberflächenstruktur von Objekten innerhalb des Sonnensystems
 - Atmosphären von Planeten, Ringe, Kometen

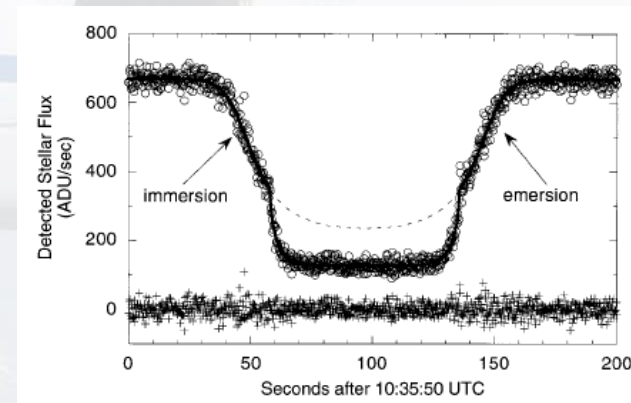
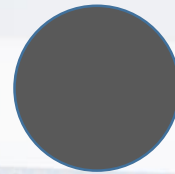


Pluto Okkultation

Nur erklärbar wenn man Nebel/Schleier in Plutos Atmosphäre annimmt.



Geschwindigkeit des Pluto-Schattens: 90.000km/h !



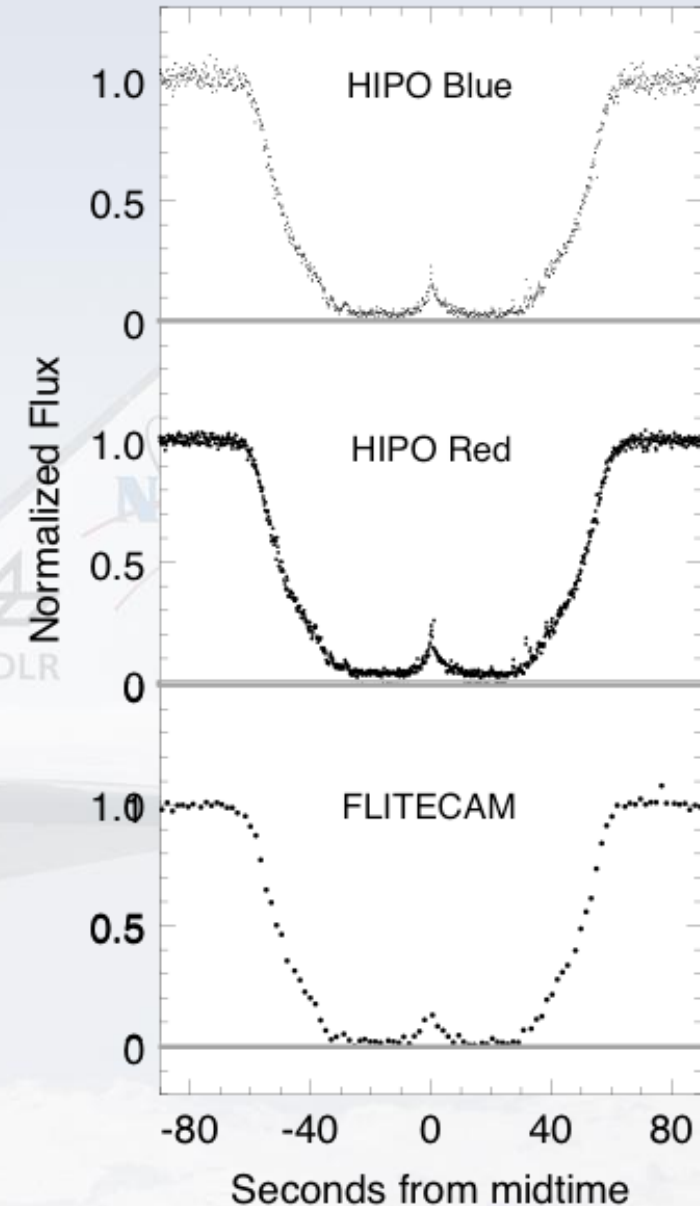
KAO 1992

Pluto Okkultation

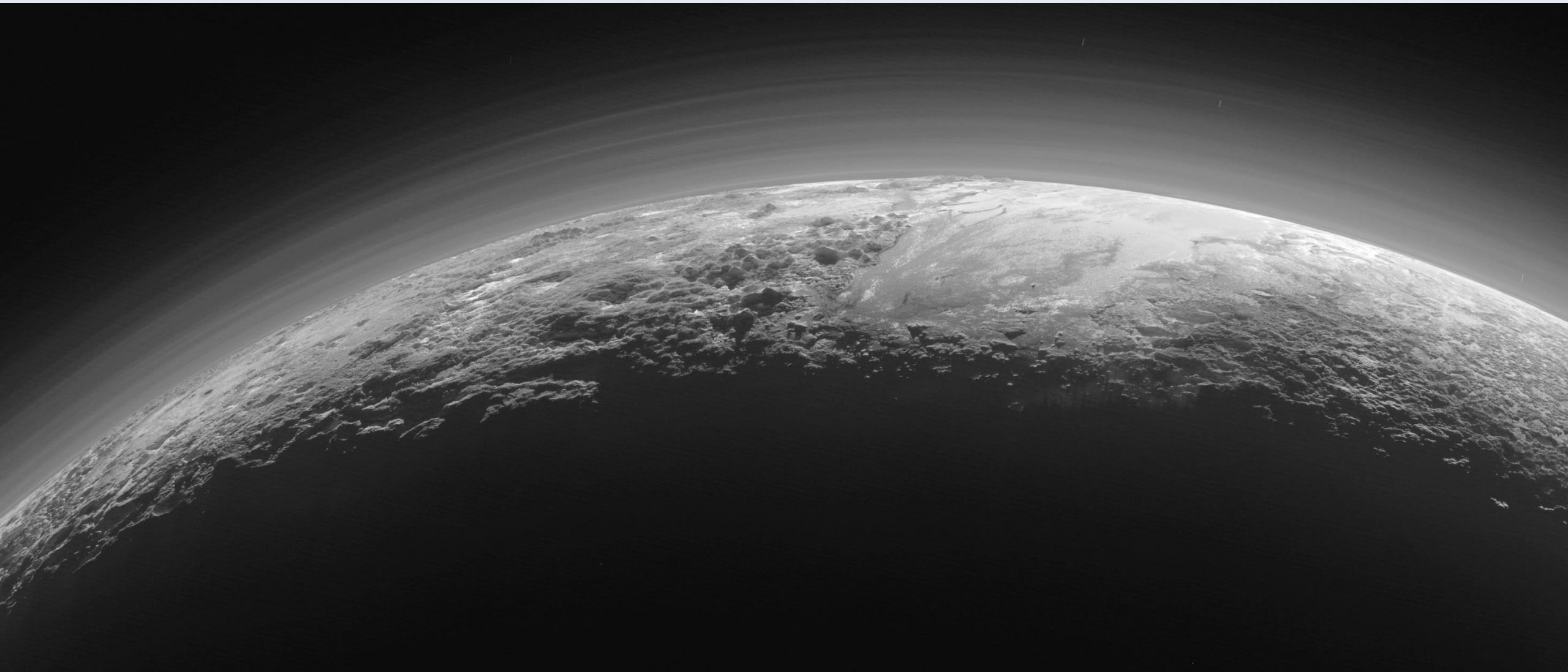
Nur erklärbar wenn man Nebel/Schleier in Plutos Atmosphäre annimmt.

Echte Aufnahme von Pluto durch die Sonde New Horizons.

Pluto wird von hinten von der Sonne beleuchtet. Der blaue Ring wird durch Nebelschleier in Plutos Atmosphäre erzeugt.



Pluto Okkultation



MU69 Okkultation – Juli 2017



Alex Parker/NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute

- Kuiper Belt Object 2014MU69 soll von New Horizon eng angefliegen werden
- Evtl. Trümer oder ein Staubring in der Umgebung wäre fatal für die Sonde
- Okkultationsbeobachtungen sollen die Umgebung von MU69 sondieren

MU69 Okkultation – Juli 2017

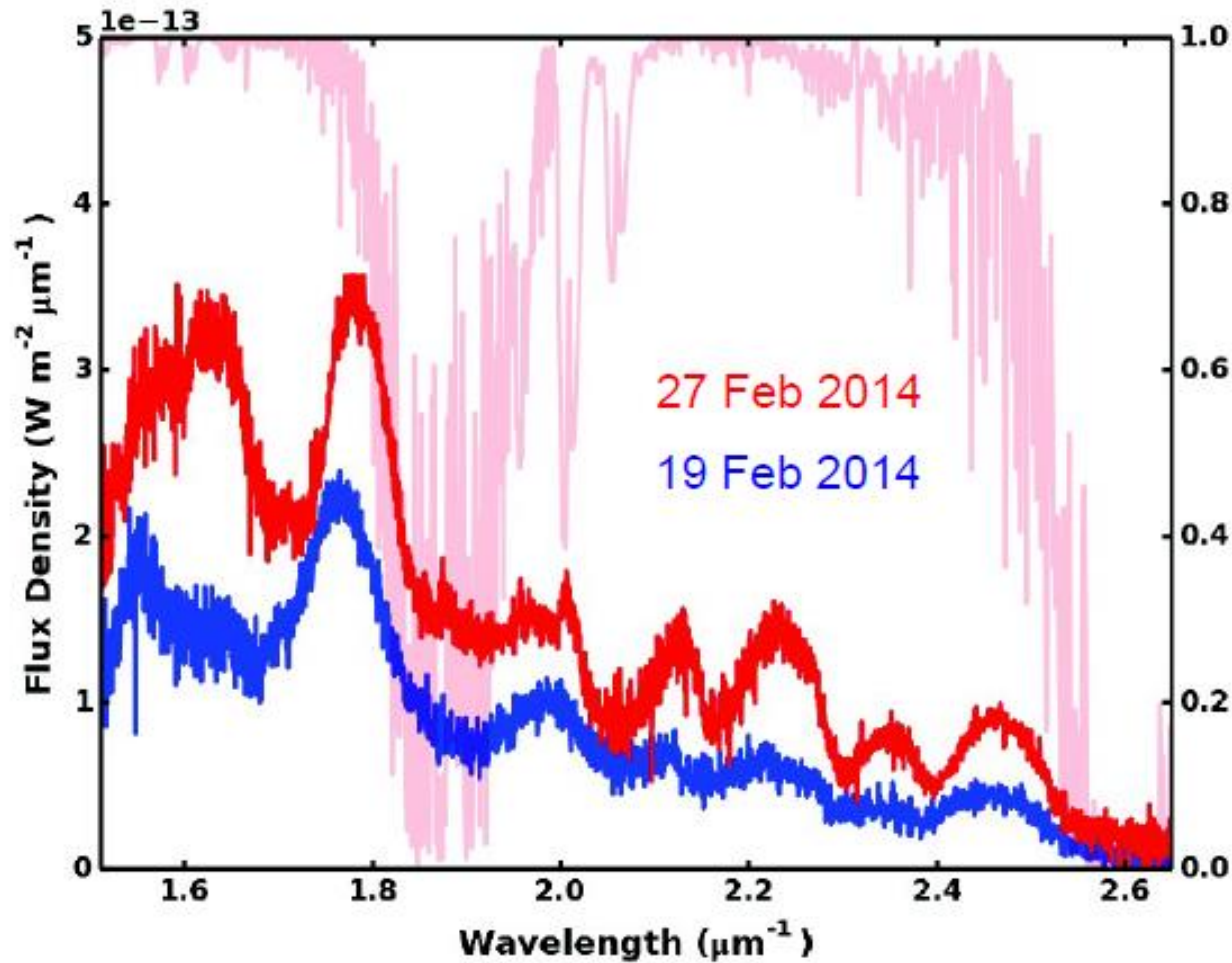


Alex Parker/NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute

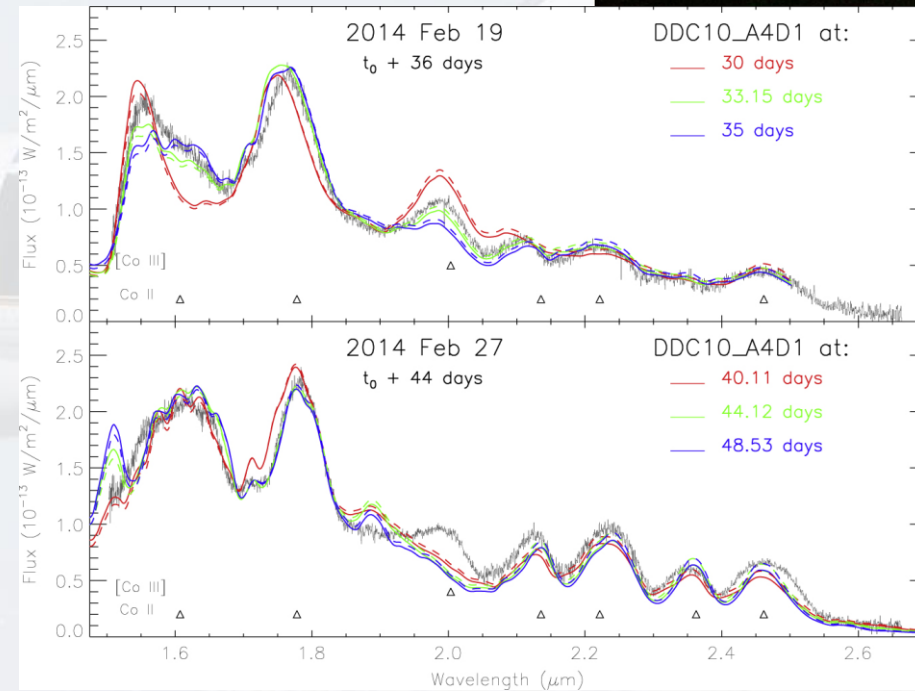
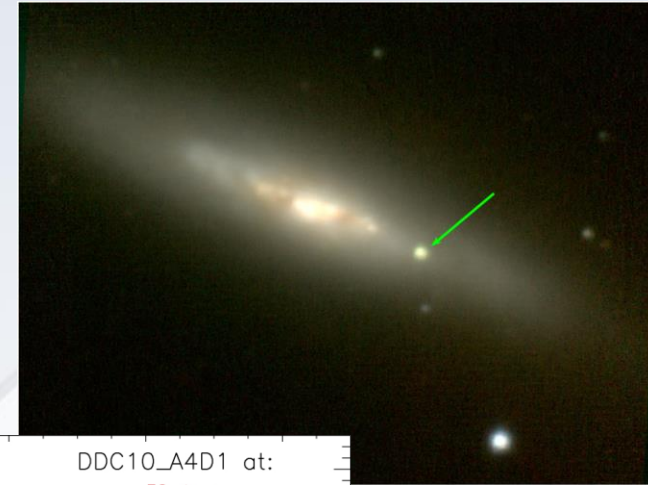
- Sehr schwierig!
 - MU69 ist viel kleiner als Pluto (20-40 km)
 - Der Schatten auf der Erde ist 100 mal kleiner im Vergleich zu Pluto
 - Nach einer Sekunde ! hat man den Schatten wieder verlassen.
- SOFIA muss mit einer Genauigkeit von ~ 10 km auf die Sekunde genau an einer vorbestimmten Position über dem Pazifik sein.

Leider den Schatten verpasst.

FLITECAM (First Light Infrared Camera)



- SN 2014J (M82)



HAWC+

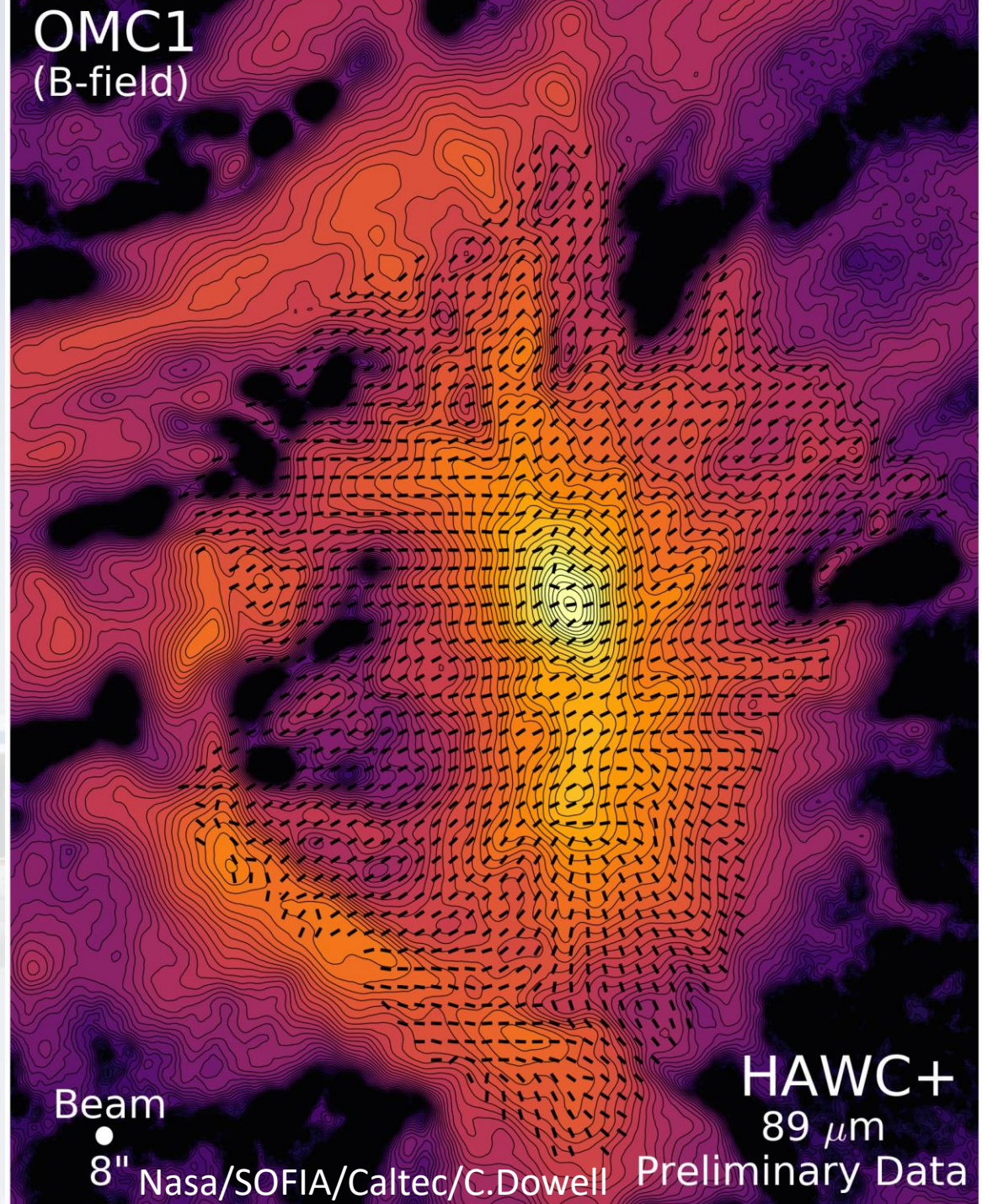
(High-Angular resolution Wideband Camera)

Orion Molekülwolke



NASA/C. R. O'Dell & S. K. Wong

OMC1
(B-field)



Beam



8"

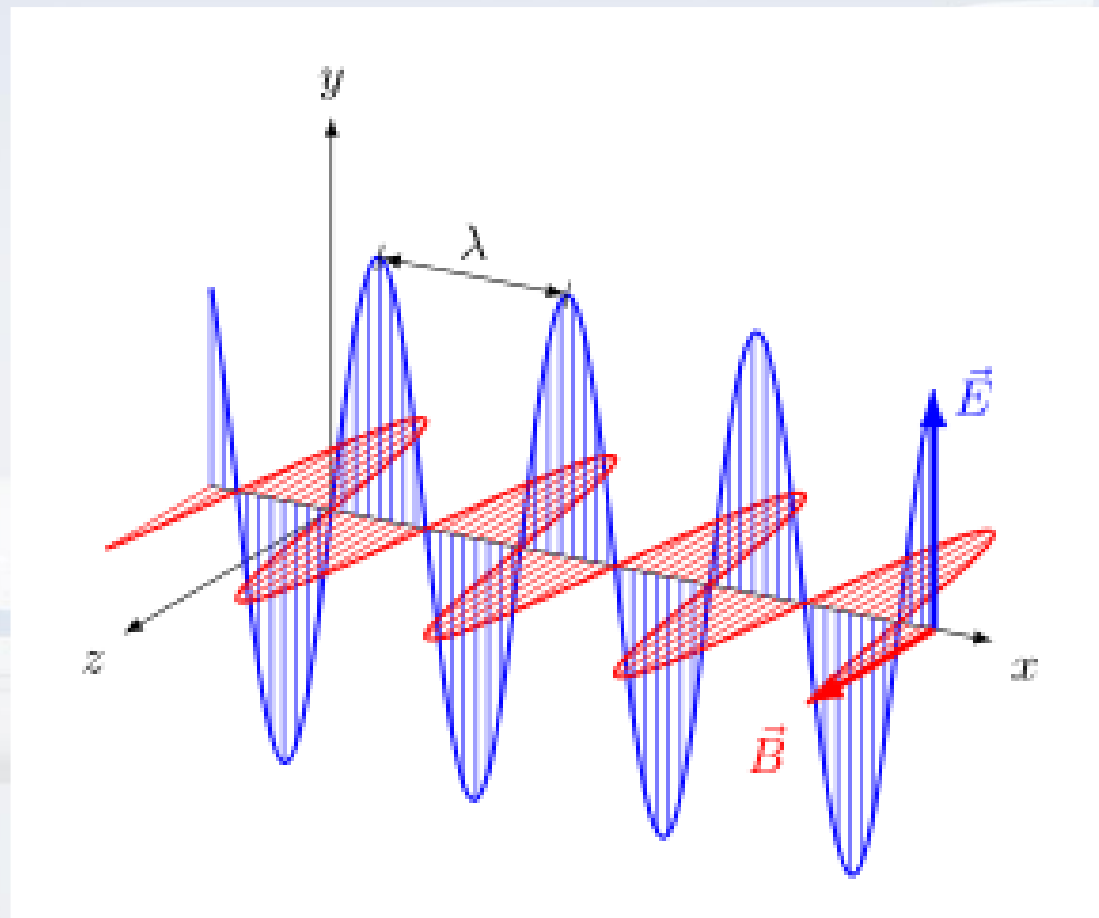
HAWC+

89 μm

Nasa/SOFIA/Caltec/C.Dowell Preliminary Data

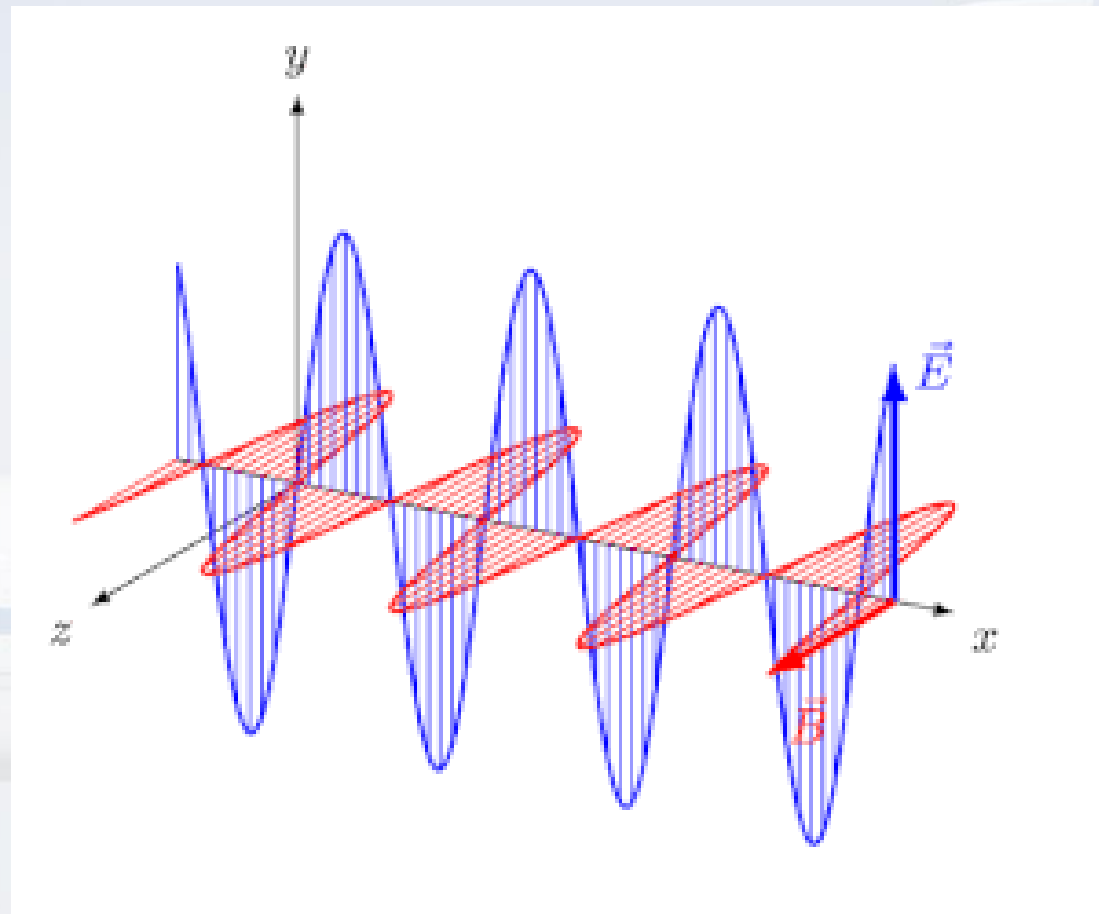
Magnetfelder / Polarisation

- Licht ist eine elektromagnetische Welle
- gekoppelte elektrische (E) und magnetische Felder (B)



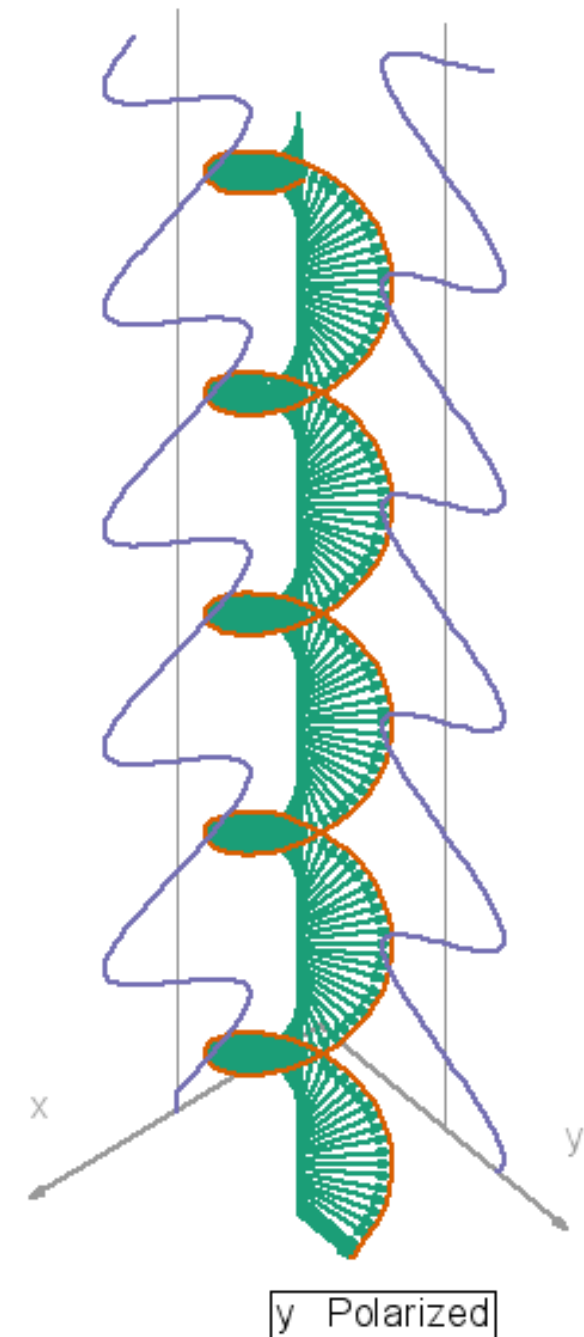
Magnetfelder / Polarisation

- Licht ist eine elektromagnetische Welle
- gekoppelte elektrische (E) und magnetische Felder (B)
- Bei linear polarisiertem Licht liegen die E und B Felder immer in der gleichen Ebene



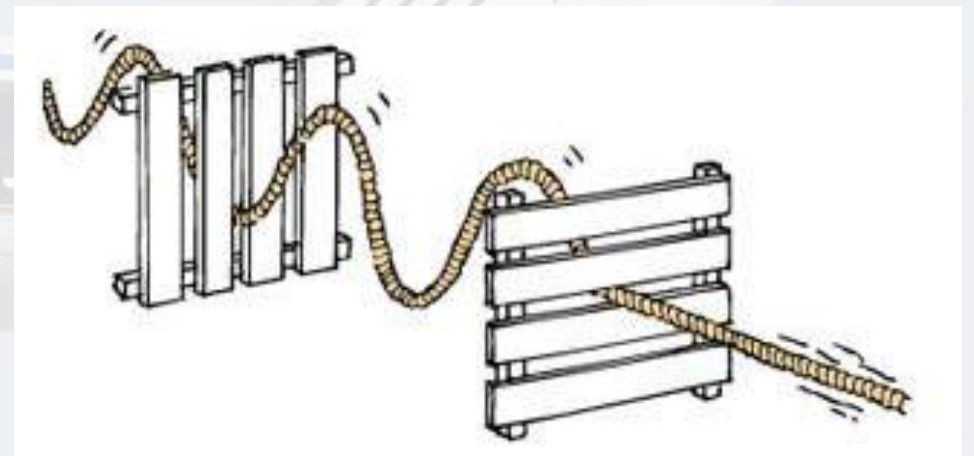
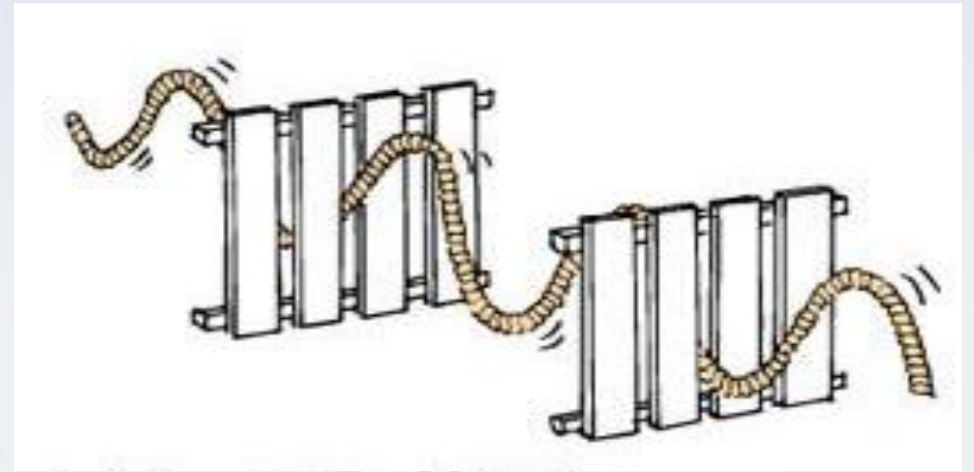
Magnetfelder / Polarisation

- Licht ist eine elektromagnetische Welle
- gekoppelte elektrische (E) und magnetische Felder (B)
- Bei zirkular polarisiertem Licht ändert sich die Orientierung des E und B Feldes periodisch



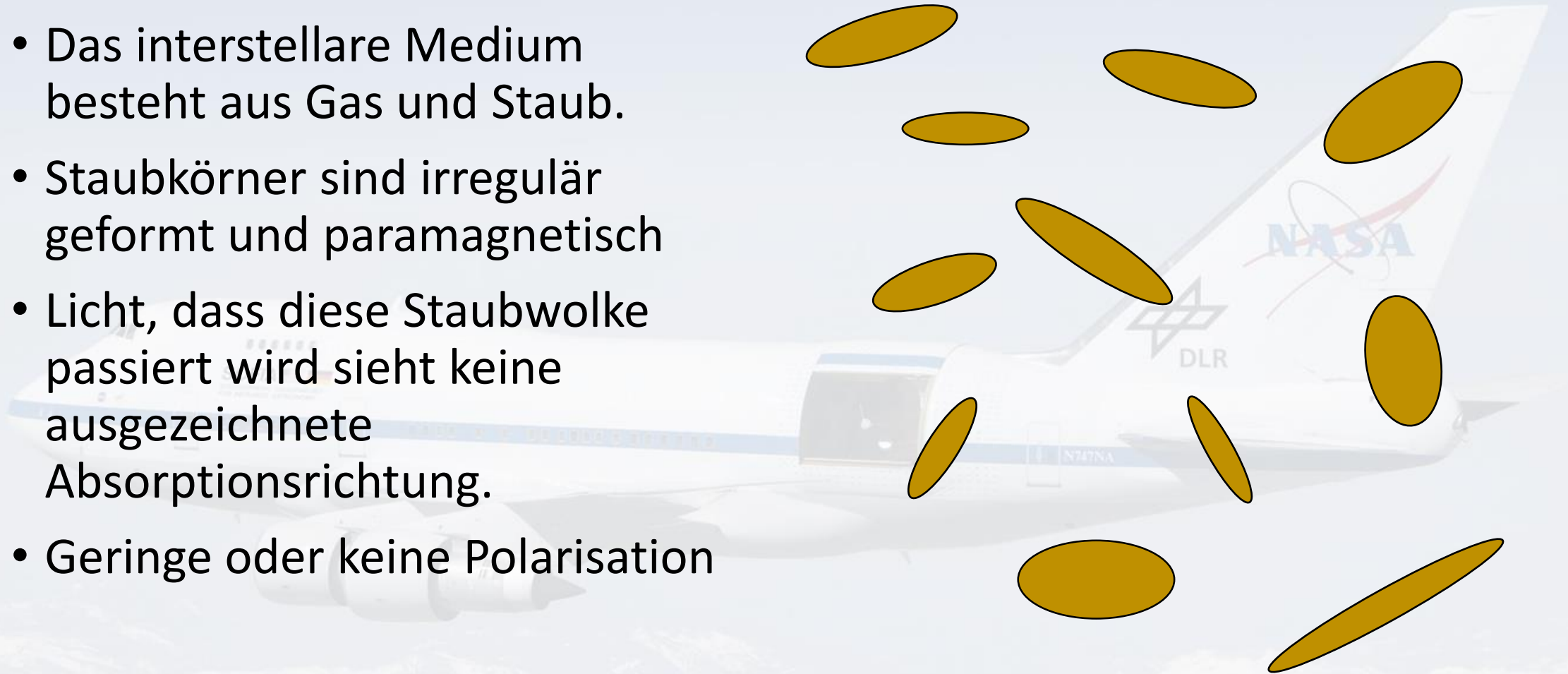
Magnetfelder / Polarisation

- Polarisiertes Licht kann abhängig von seiner Polarisationsrichtung absorbiert werden.
 - Bsp. Polarisationsfilter in der Fotografie



Polarisation im interstellaren Medium

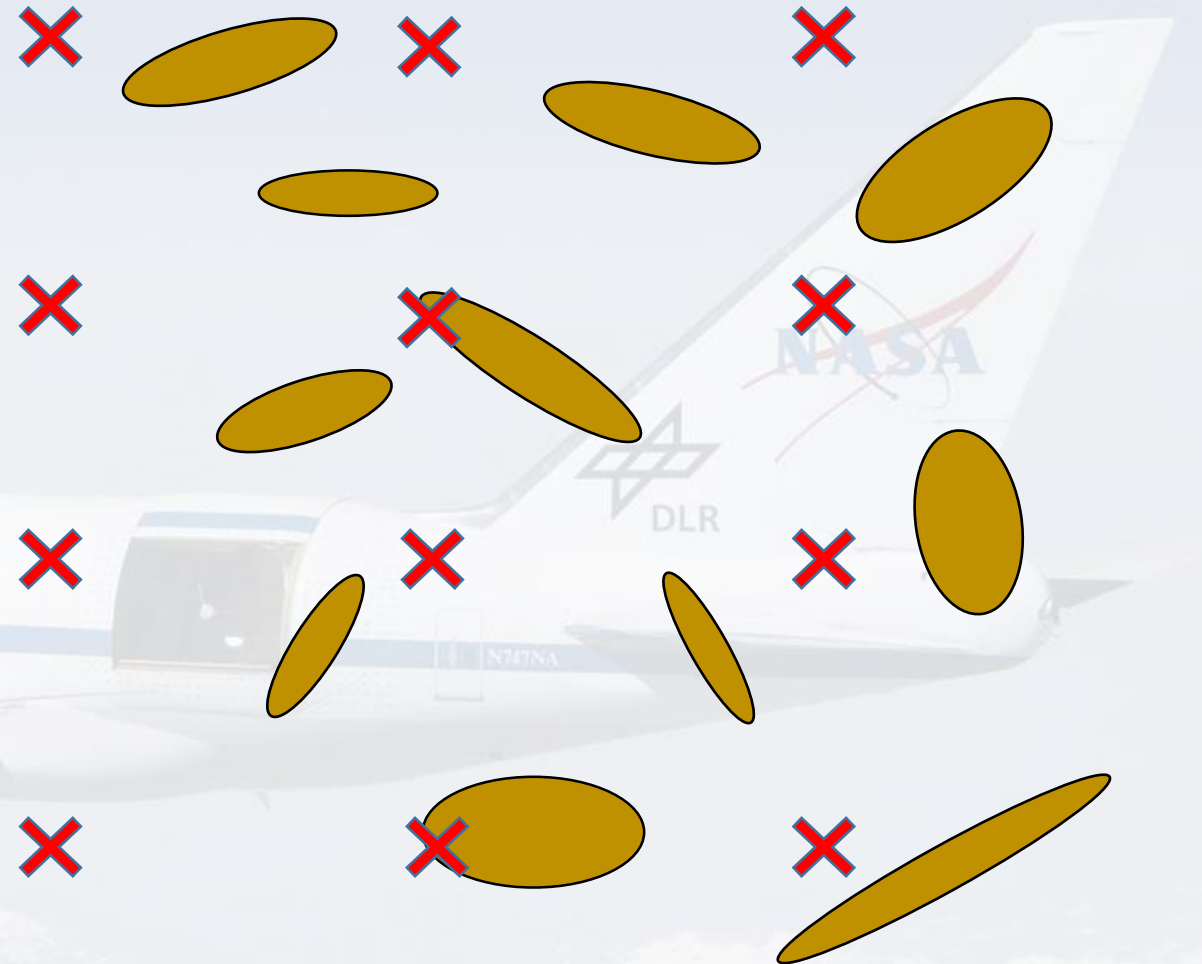
- Das interstellare Medium besteht aus Gas und Staub.
- Staubkörner sind irregulär geformt und paramagnetisch
- Licht, das diese Staubwolke passiert wird sieht keine ausgezeichnete Absorptionsrichtung.
- Geringe oder keine Polarisation



Polarisation im interstellaren Medium

Magnetfelder
senkrecht zur
Folie

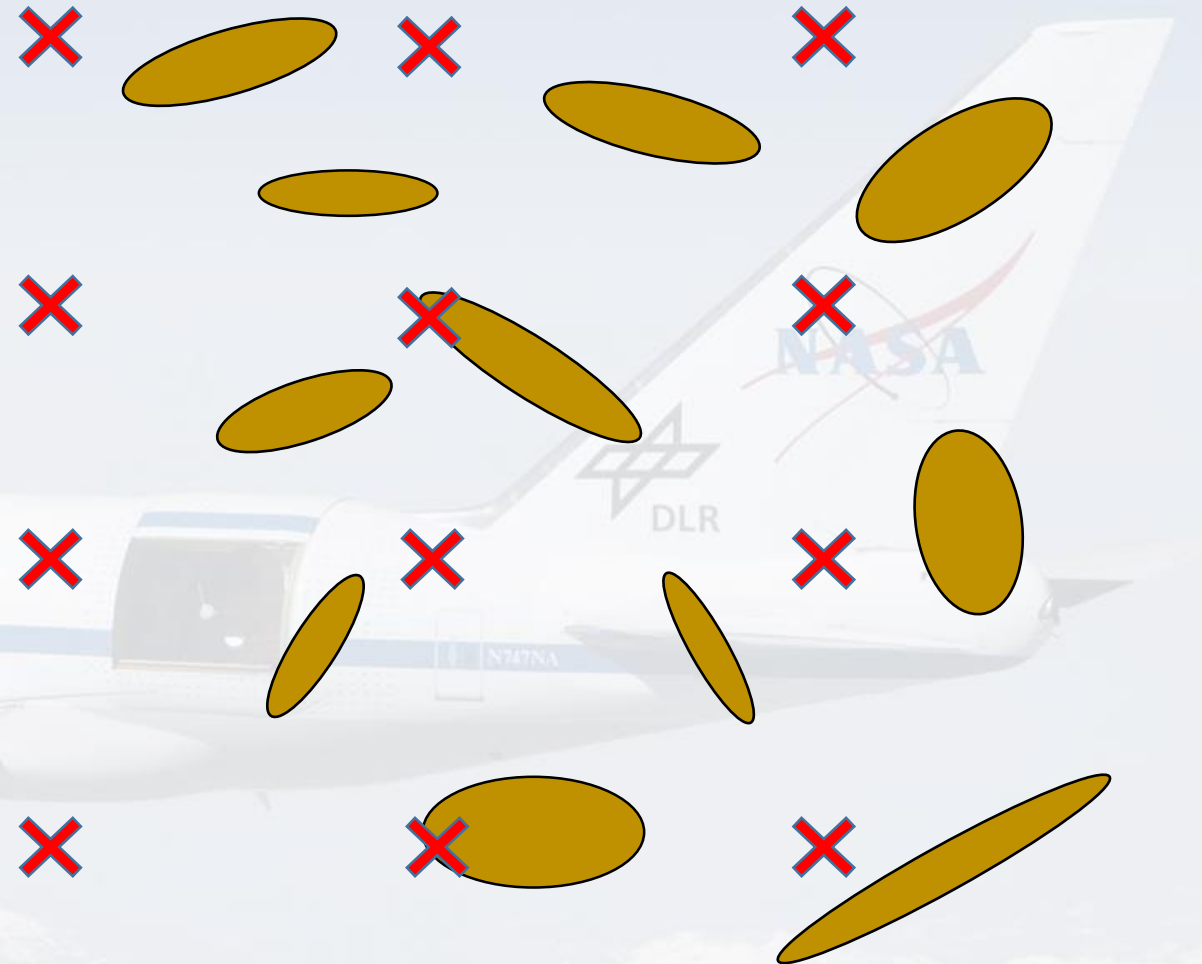
- Das interstellare Medium besteht aus Gas und Staub.
- Staubkörner sind irregulär geformt und paramagnetisch
- Licht, das diese Staubwolke passiert wird sieht keine ausgezeichnete Absorptionsrichtung.
- Geringe oder keine Polarisation



Polarisation im interstellaren Medium

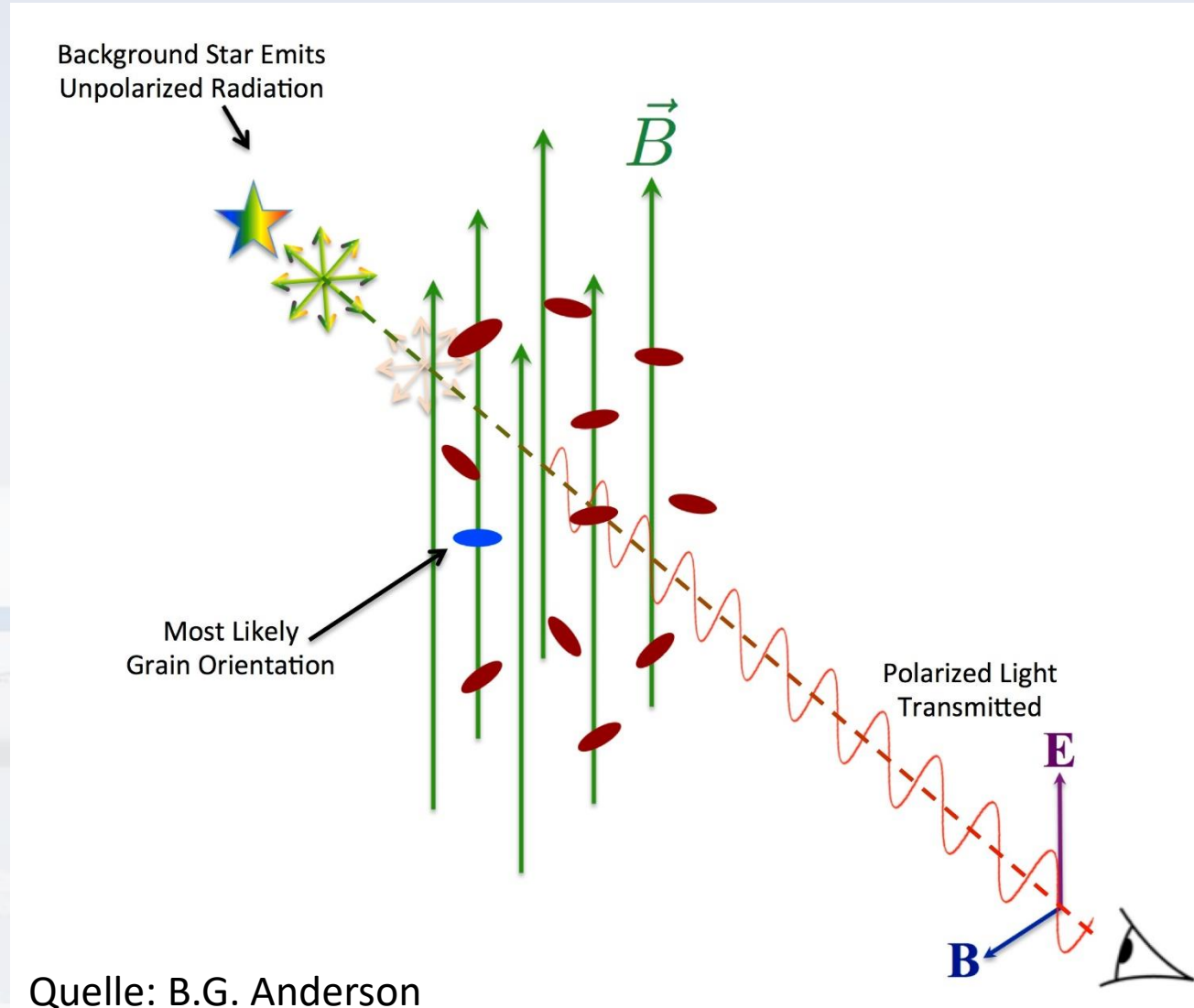
Magnetfelder
senkrecht zur
Folie

- Das interstellare Medium besteht aus Gas und Staub.
- Staubkörner sind irregulär geformt und paramagnetisch
- Licht, das diese Staubwolke passiert wird sieht keine ausgezeichnete Absorptionsrichtung.
- Geringe oder keine Polarisation



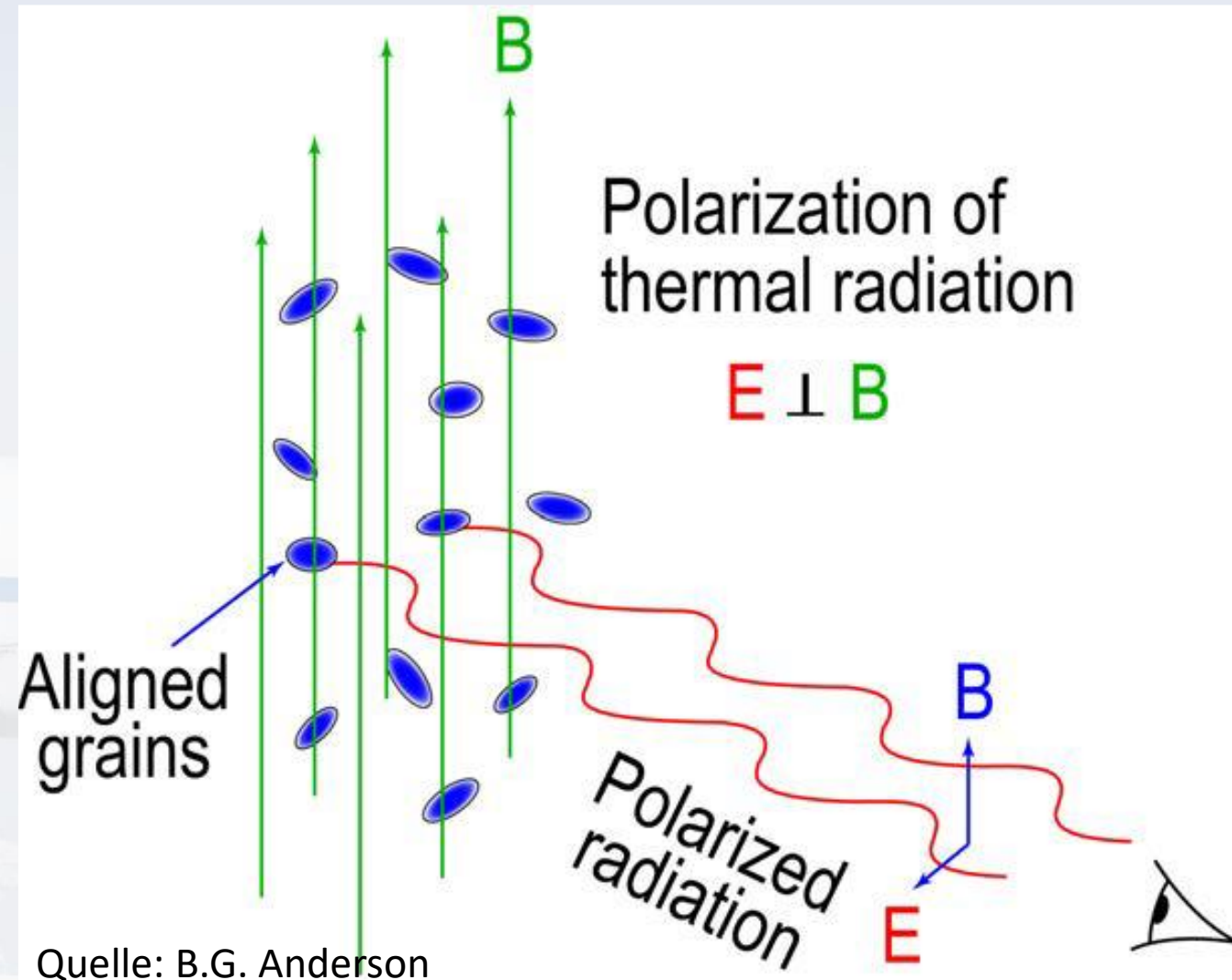
Polarisation im interstellaren Medium

- Richten sich Staubkörner gleich aus, formen sie ein Polarisationsgitter.
- Magnetfelder in der Himmelsebene sorgen für eine ausgezeichnete Richtung
- Strahlung aus dem Hintergrund der Staubwolke kann nur passieren mit einer Polarisationsrichtung (E) parallel zum Magnetfeld.

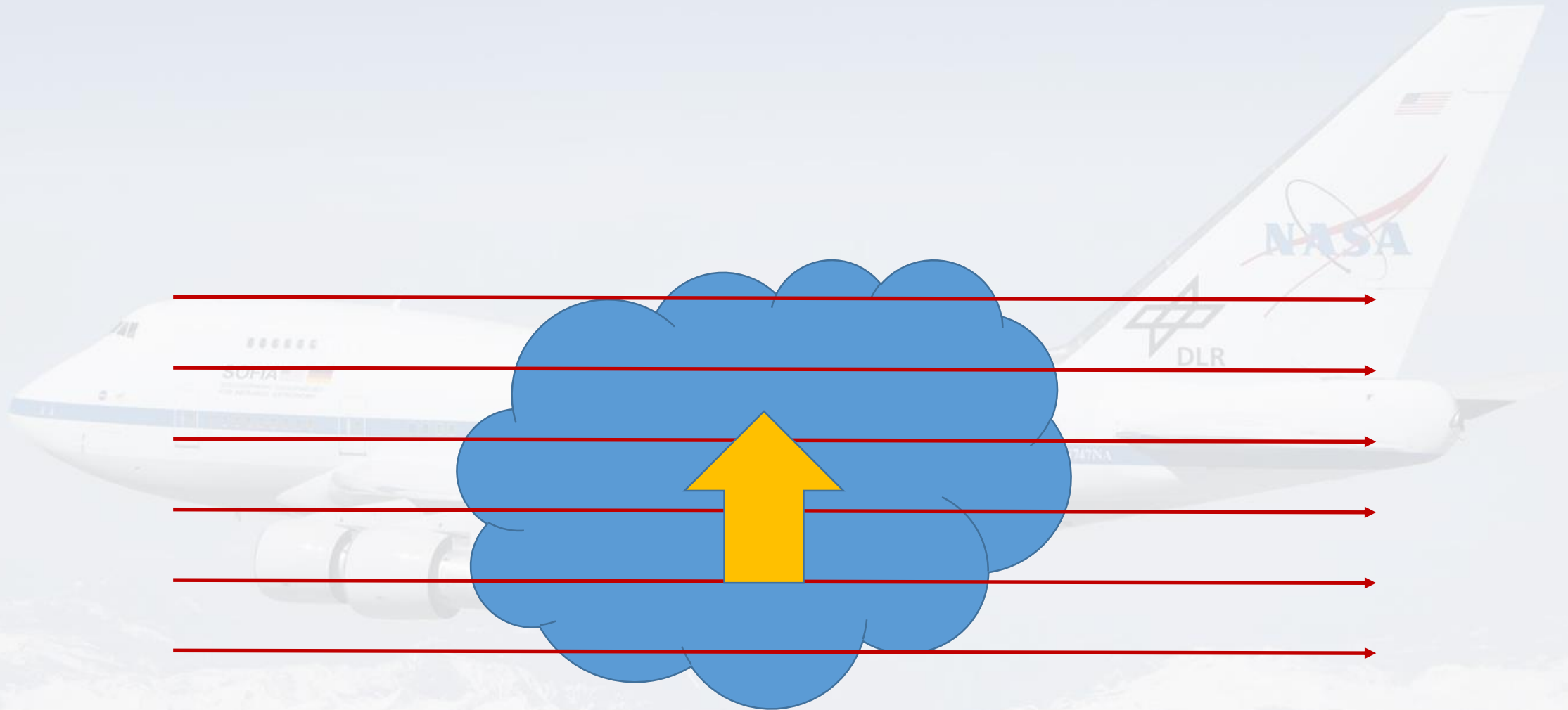


Polarisation im interstellaren Medium

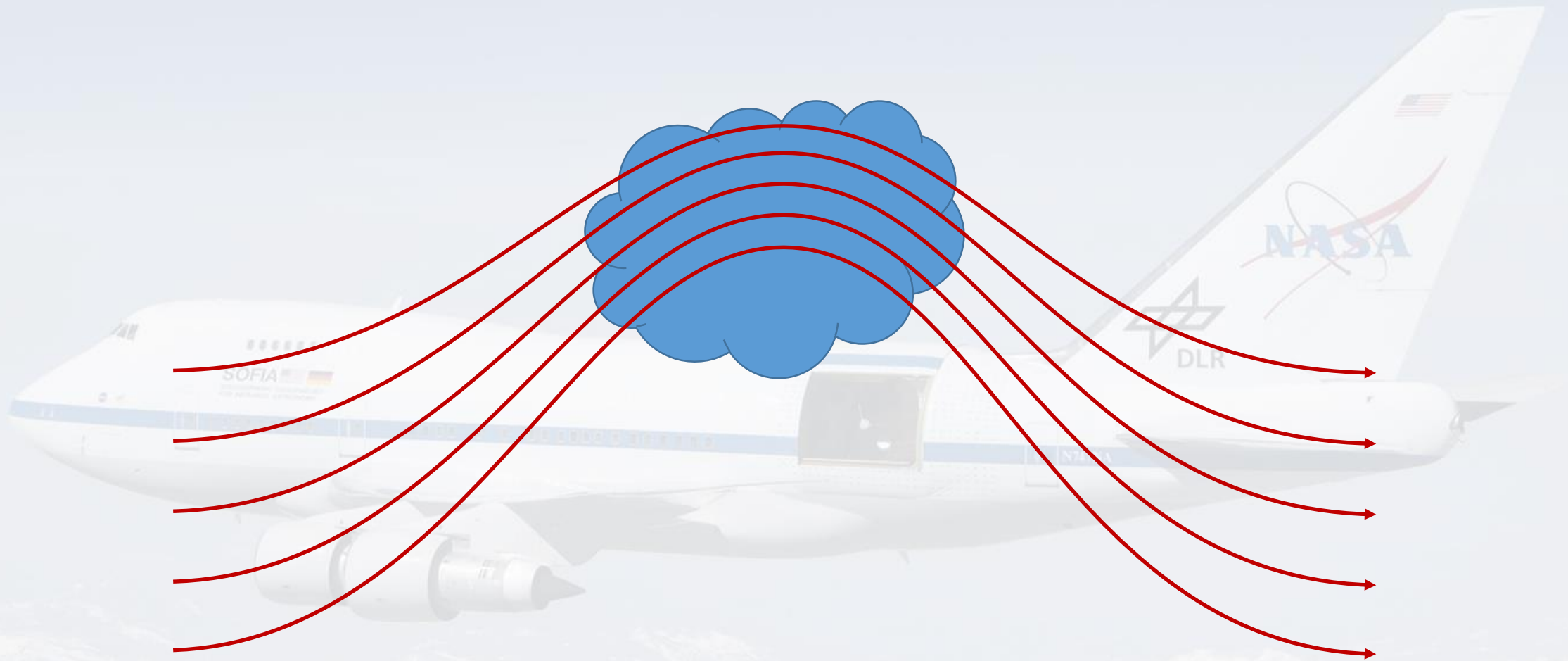
- Strahlung, die direkt von den Staubkörnern abgestrahlt wird, ist senkrecht zum Magnetfeld (E) polarisiert.
- Eine der wenigen Möglichkeiten, Magnetfelder über astronomische Entfernungen hinweg zu detektieren.



„Eingefrorene“ Magnetfelder

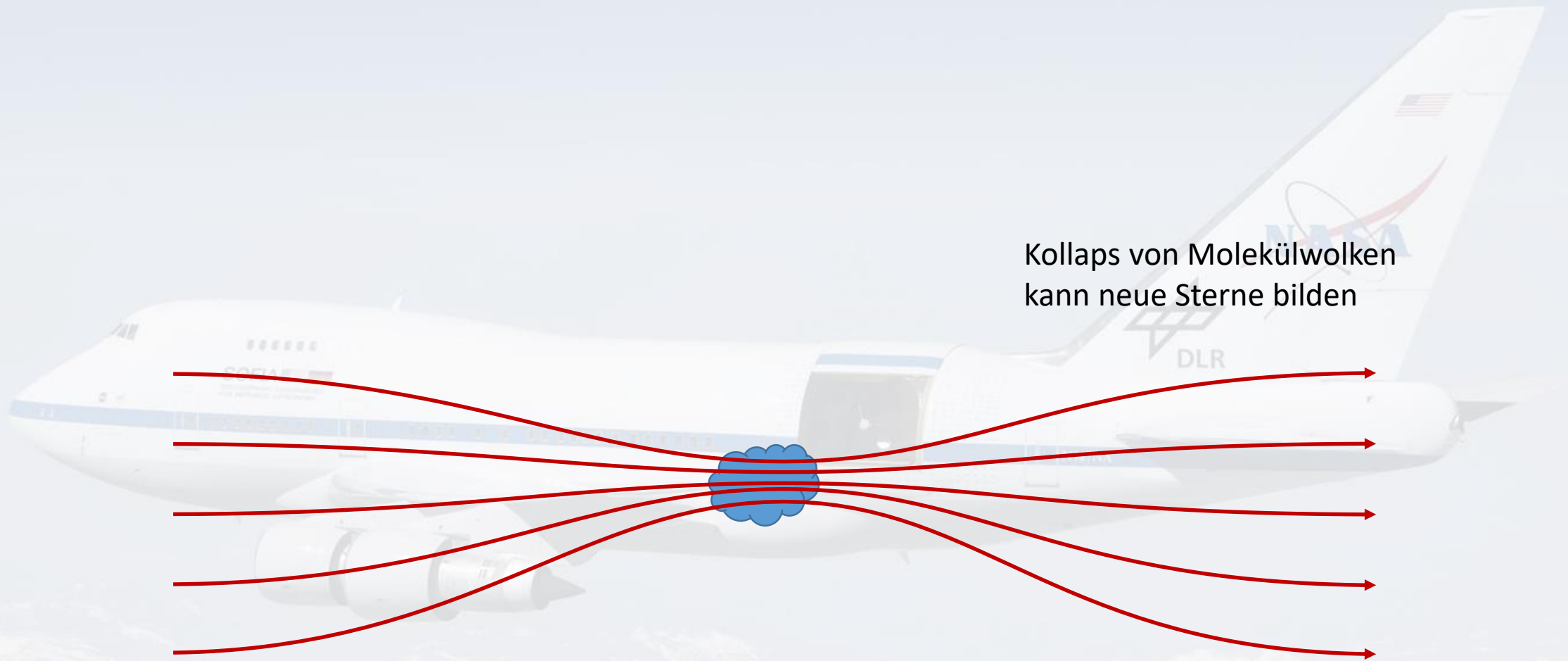


„Eingefrorene“ Magnetfelder

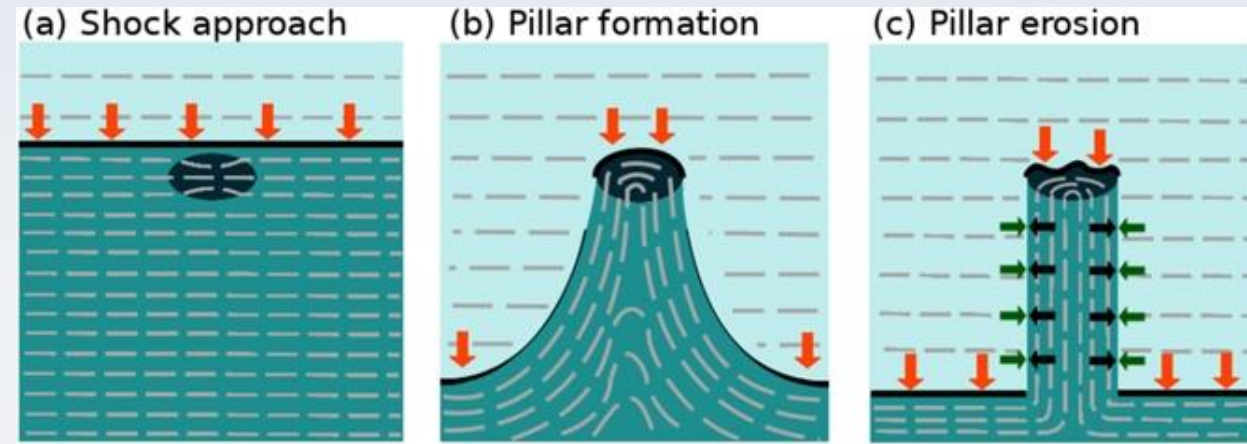
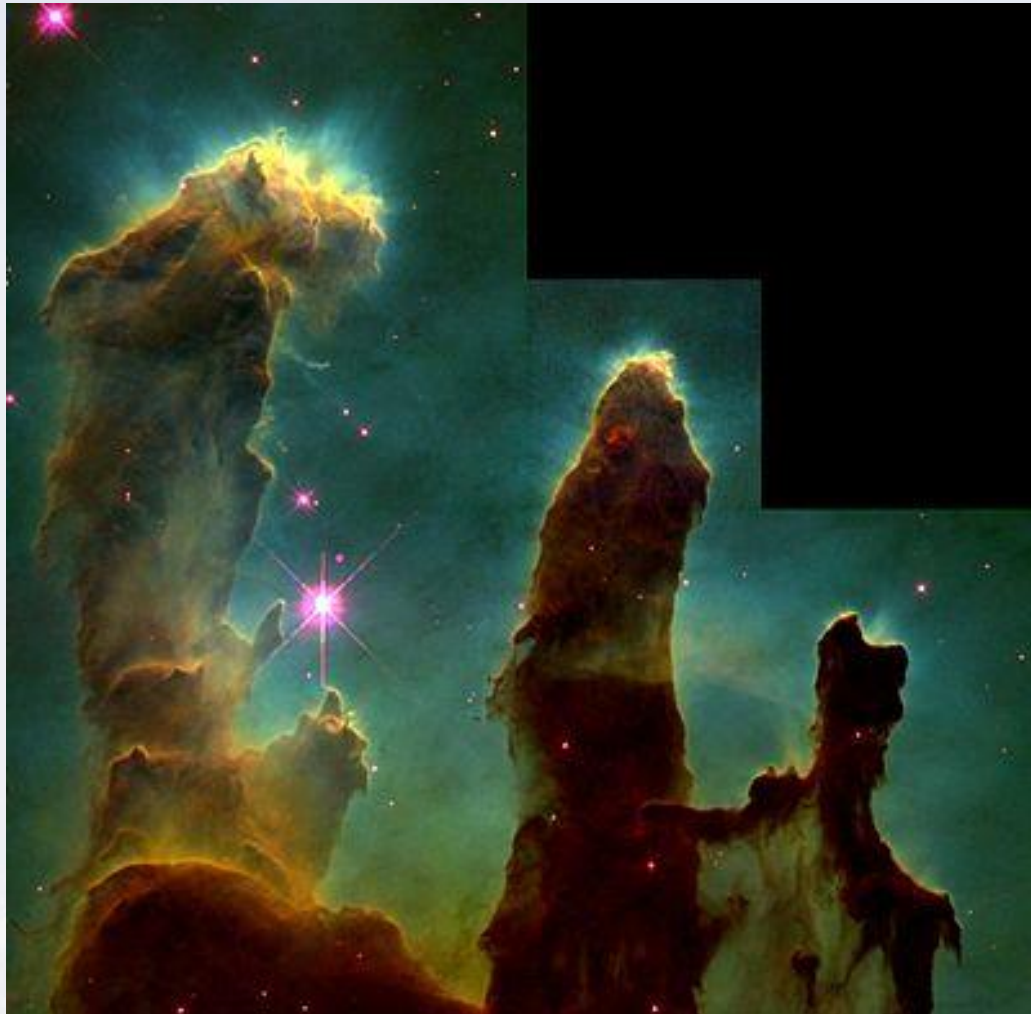


„Eingefrorene“ Magnetfelder

Kollaps von Molekülwolken
kann neue Sterne bilden



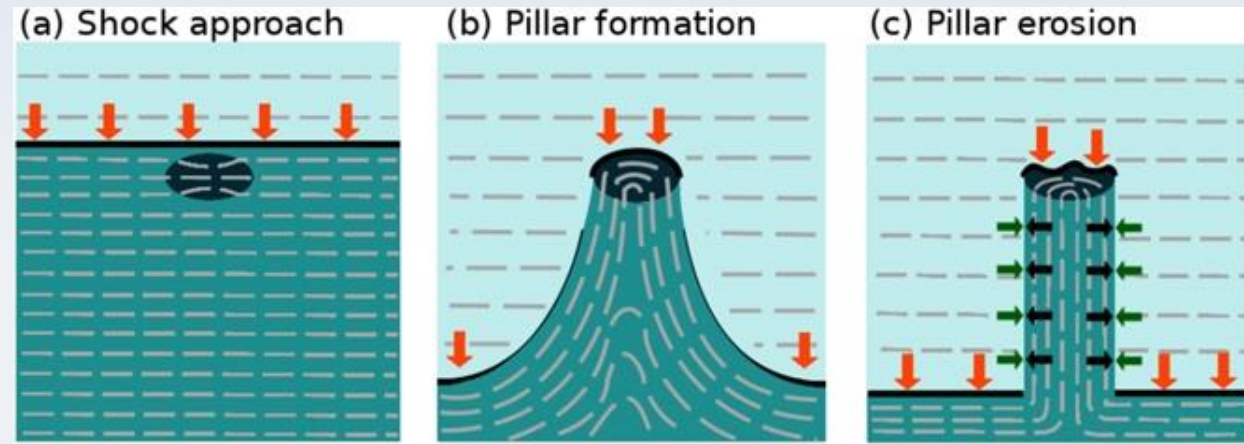
Magnetfelder zeigen die Dynamische Geschichte des interstellaren Mediums



Pattle et al. 2018

Schockwellen, ausgelöst von jungen, massiven Sternen in der Umgebung, beeinflussen nahe Molekülwolken und können sogenannte „Pillars of Creation“ formen.

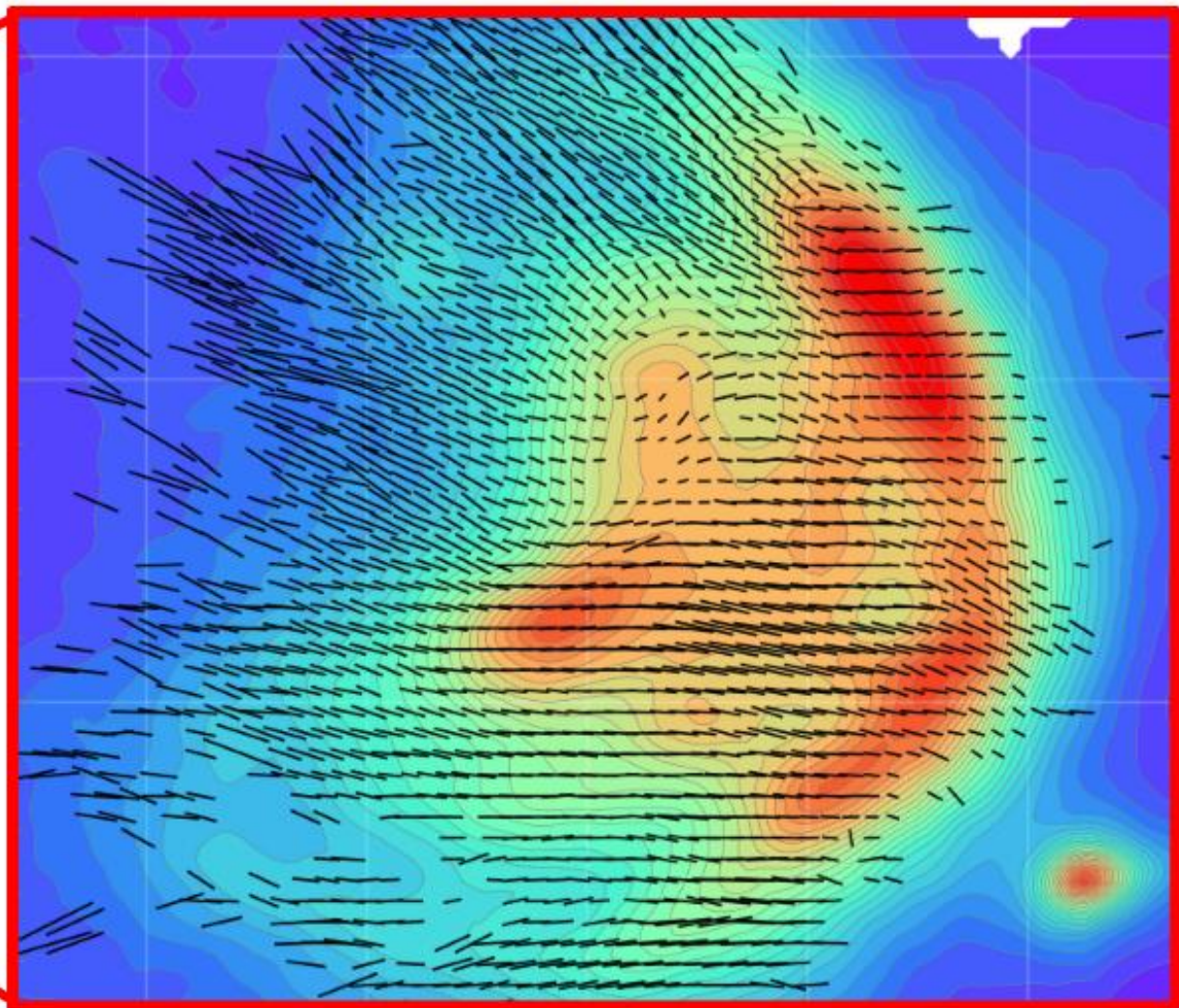
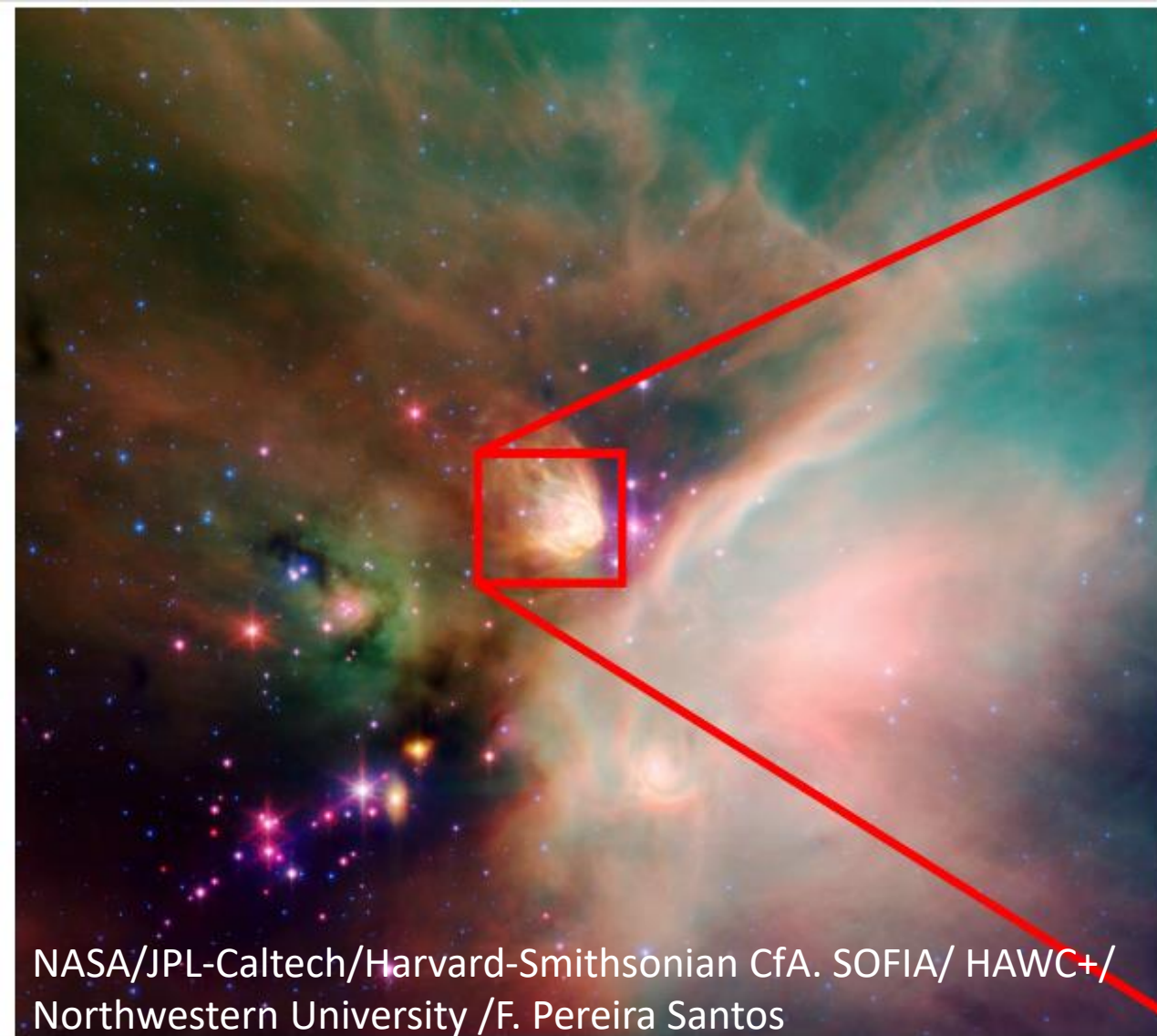
Magnetfelder zeigen die Dynamische Geschichte des interstellaren Mediums



Pattle et al. 2018

Eingefrorene Magnetfelder dokumentieren die dynamische Geschichte der Wolke!

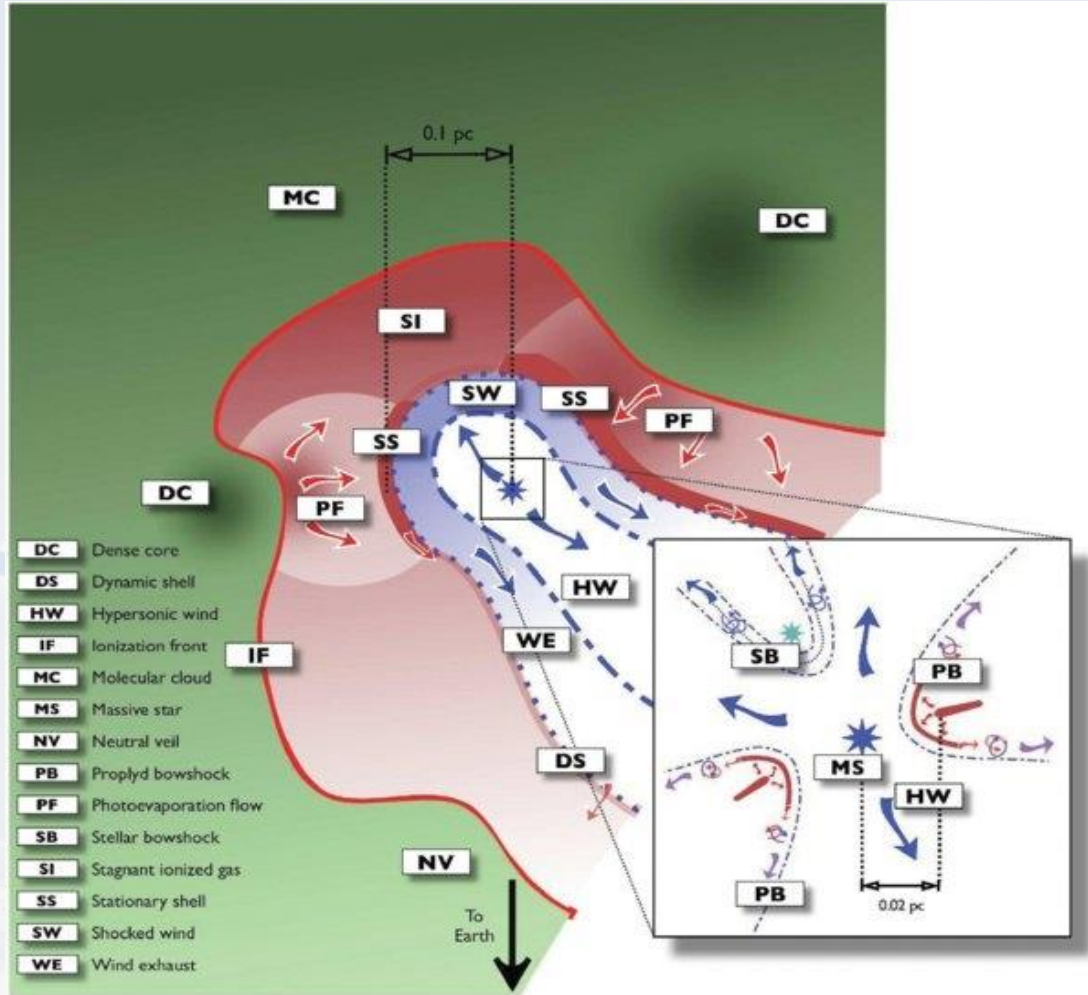
SOFIA Beobachtung der Rho Oph Wolke



HAWC+

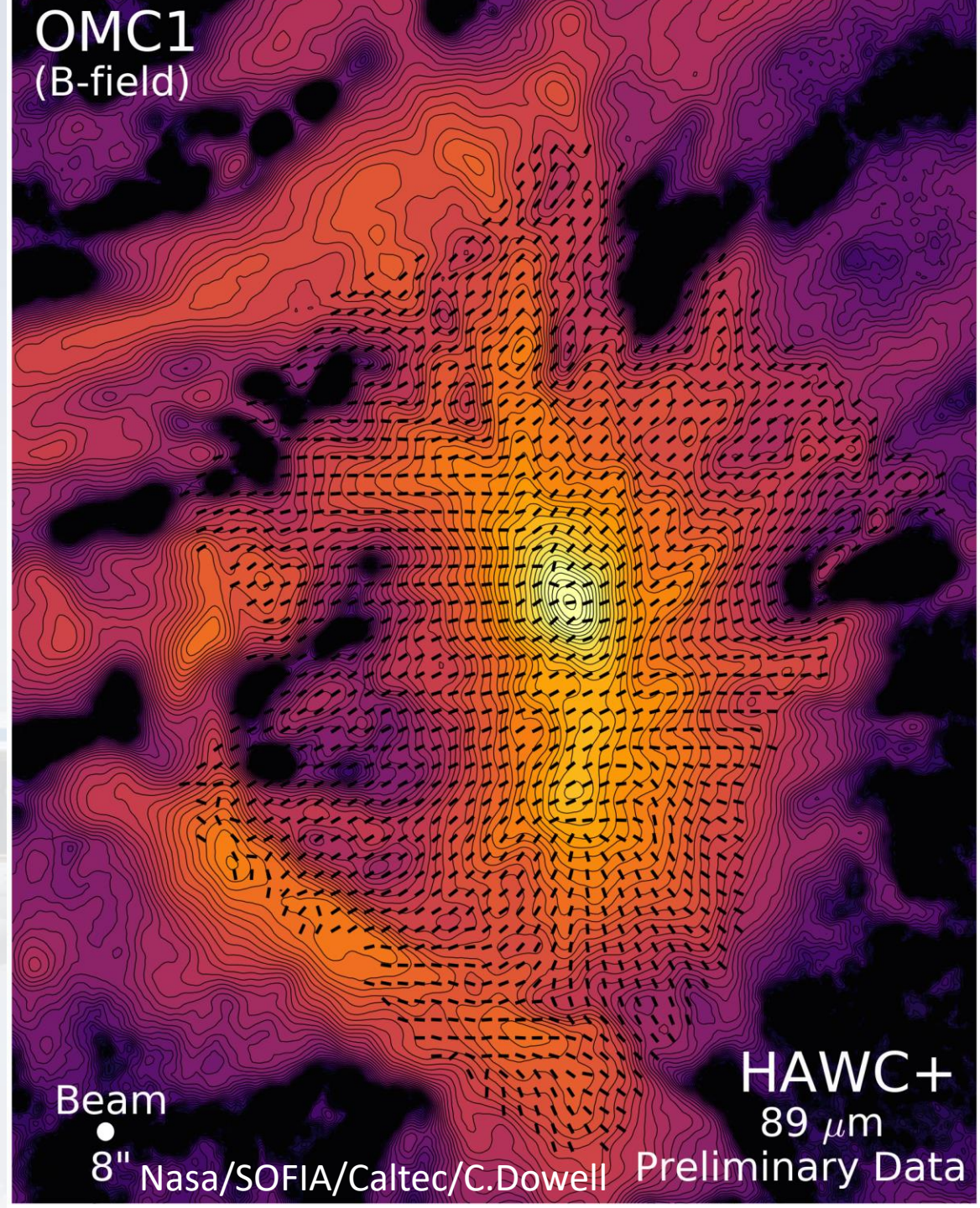
(High-Angular resolution Wideband Camera)

Orion Molekülwolke



O'Dell et al. 2009

OMC1
(B-field)



Beam

8"

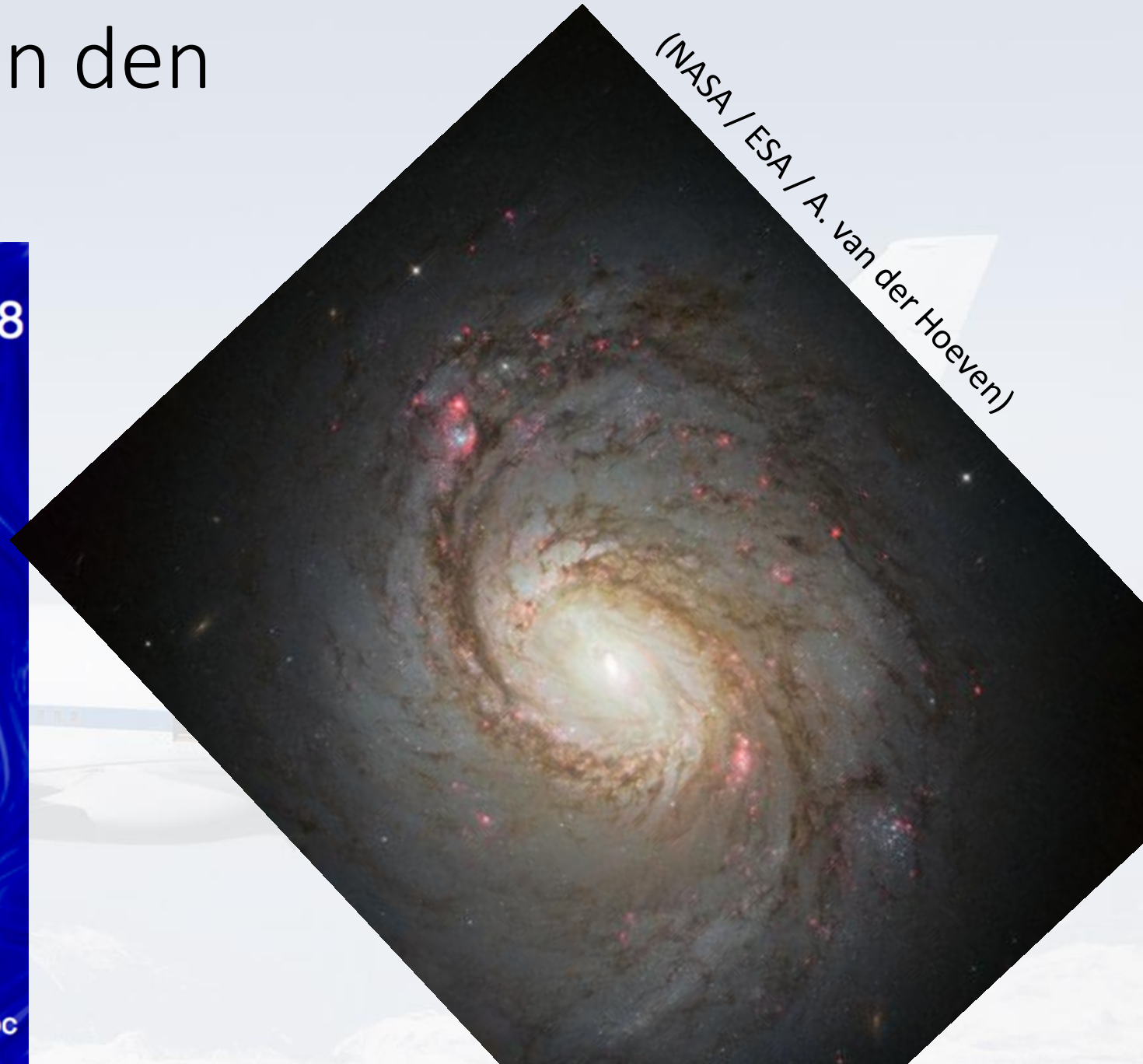
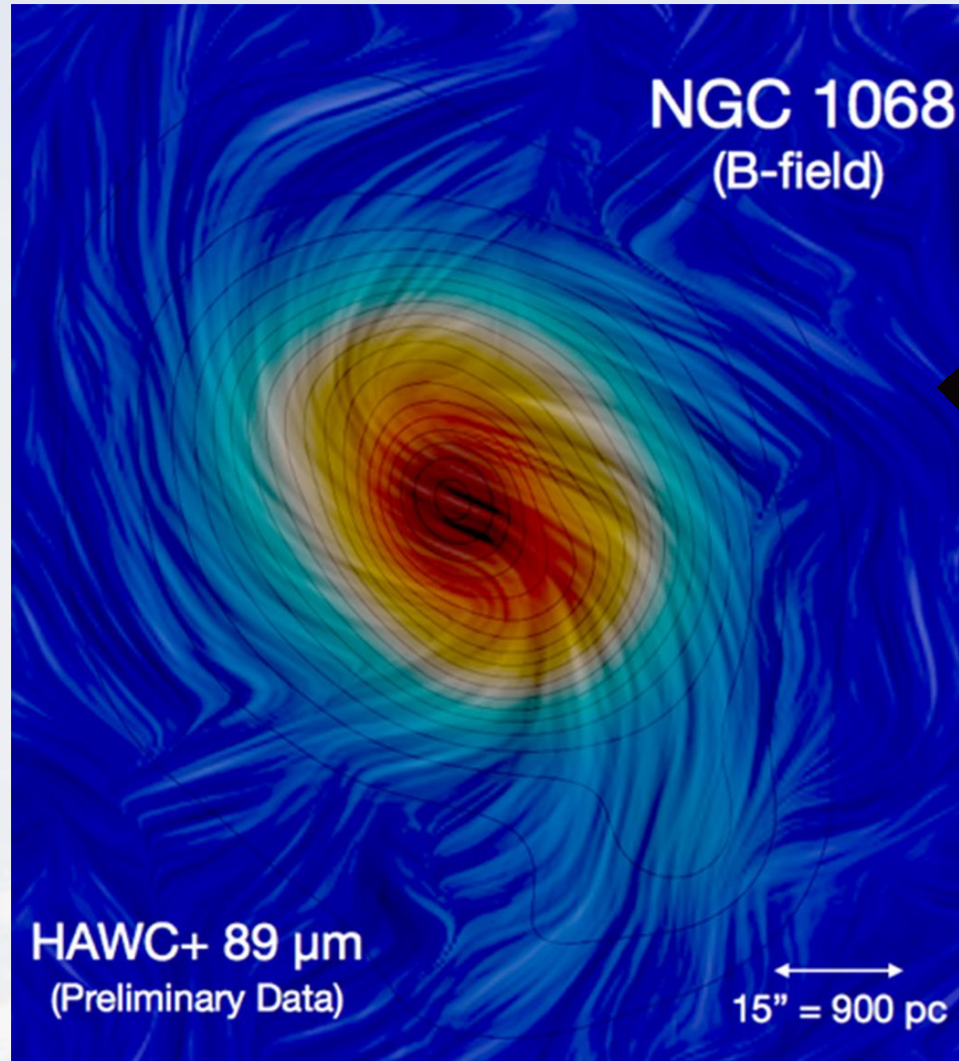
Nasa/SOFIA/Caltec/C.Dowell

HAWC+
89 μm

Preliminary Data

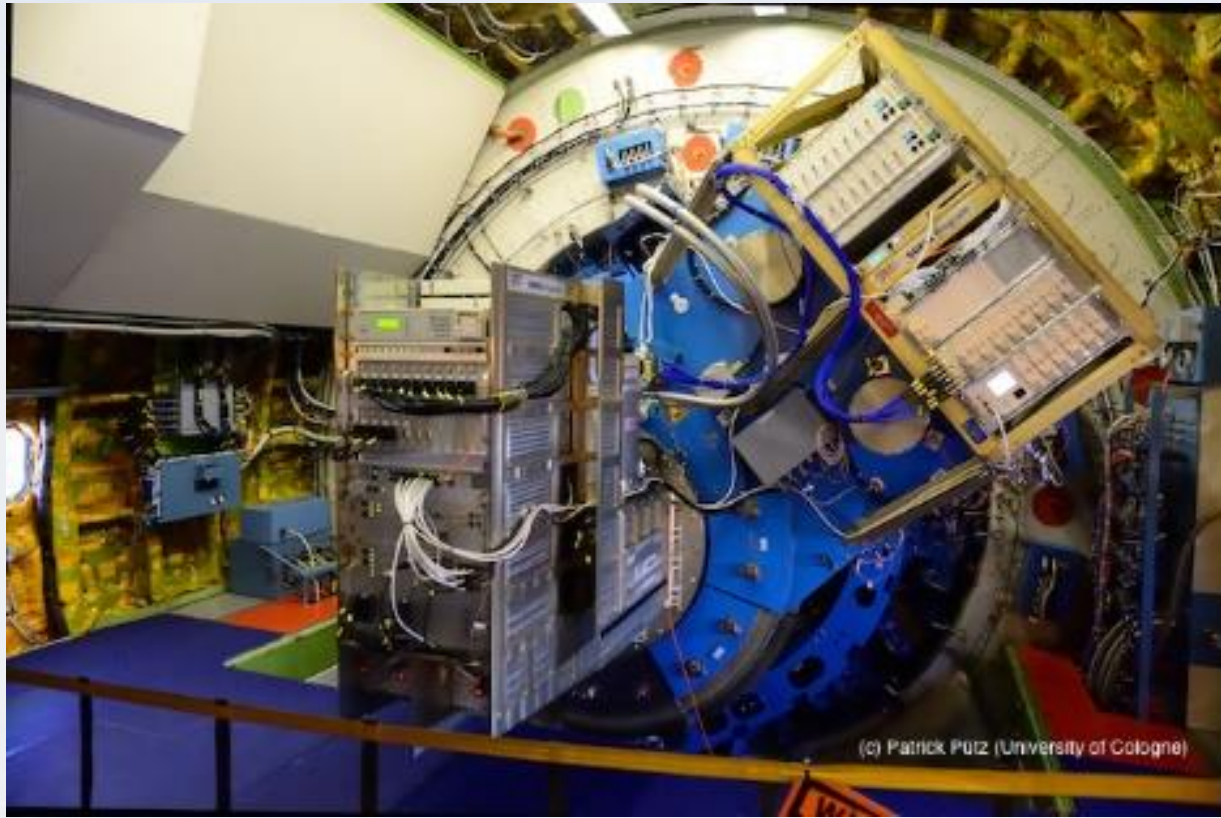
Magnetfelder folgen den Spiralarmen

SOFIA/HAWC+/E. Lopez-Rodriguez



upGREAT - Bonn/Köln Empfänger

German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies

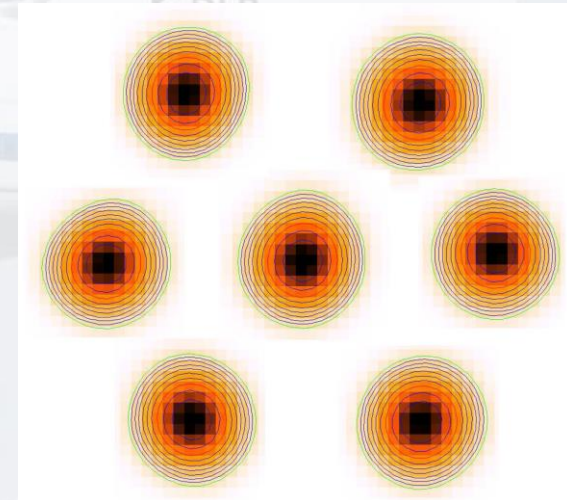


- Heterodyne Empfänger

- $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \approx 10^8$

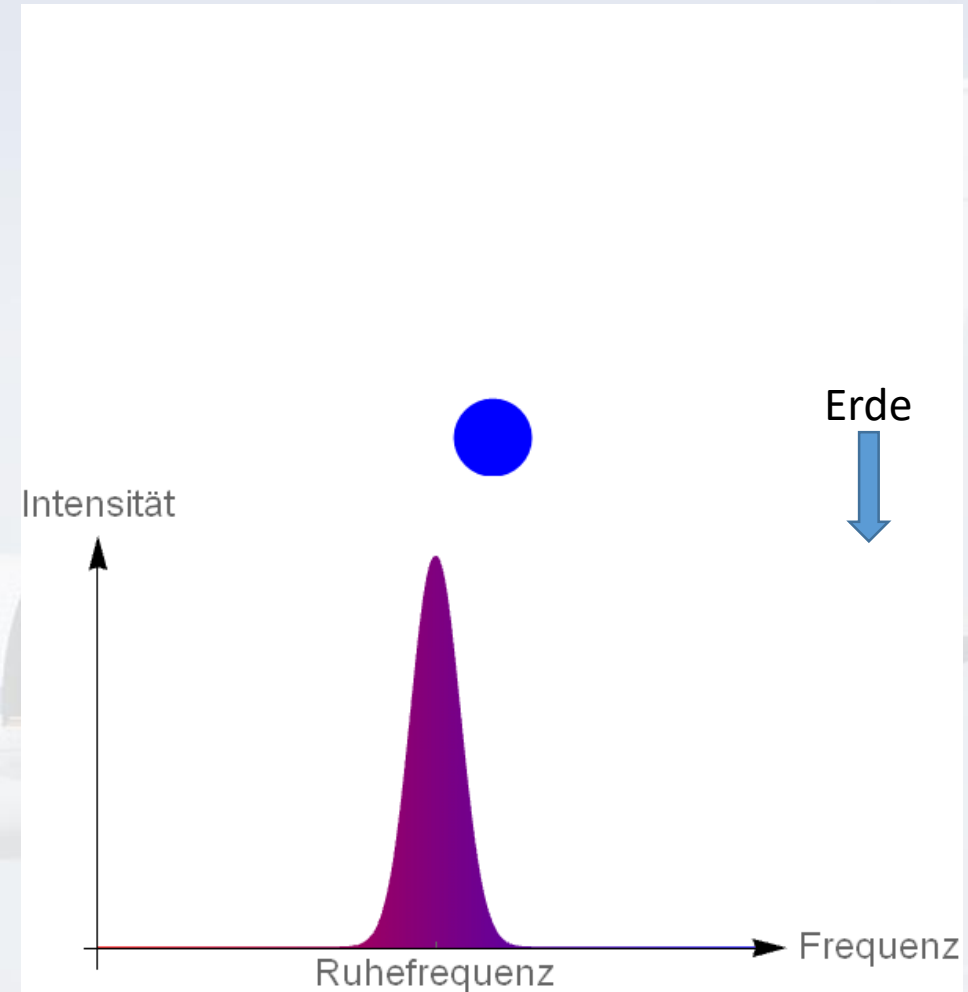
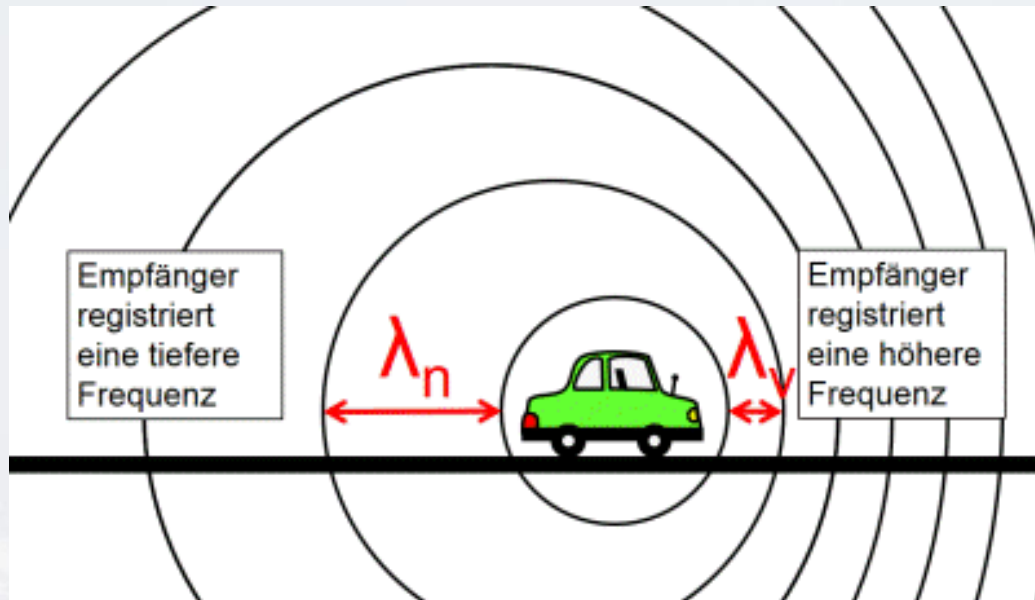
- Frequenzbereich:
 $1.26 < f < 4.7 \text{ THz}$

- 7 Pixel



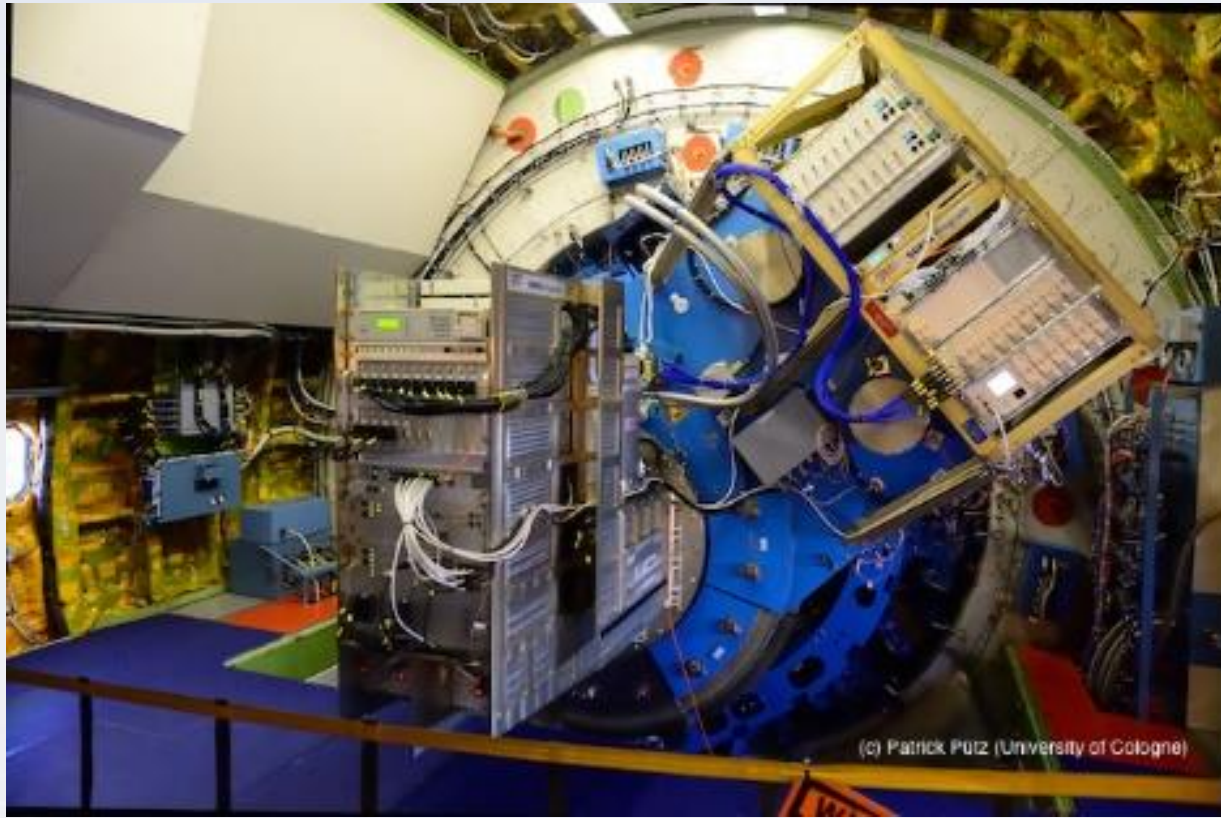
Doppler-Effekt im interstellaren Medium

- Die Frequenz einer abgestrahlten Welle hängt von der Geschwindigkeit des Senders und des Empfängers ab.



upGREAT - Bonn/Kölner Empfänger

German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies

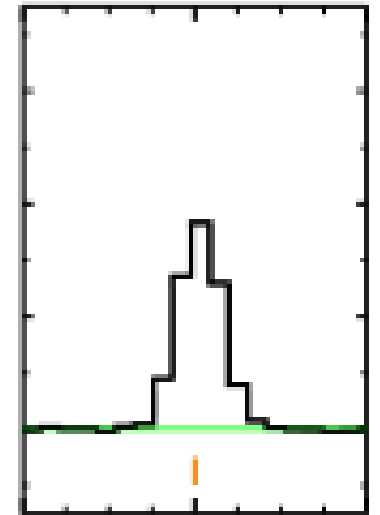


- Heterodyne Empfänger

- $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \approx 10^8$

- Spektrale Form der Strahlung enthält Information über die lokale Dynamik

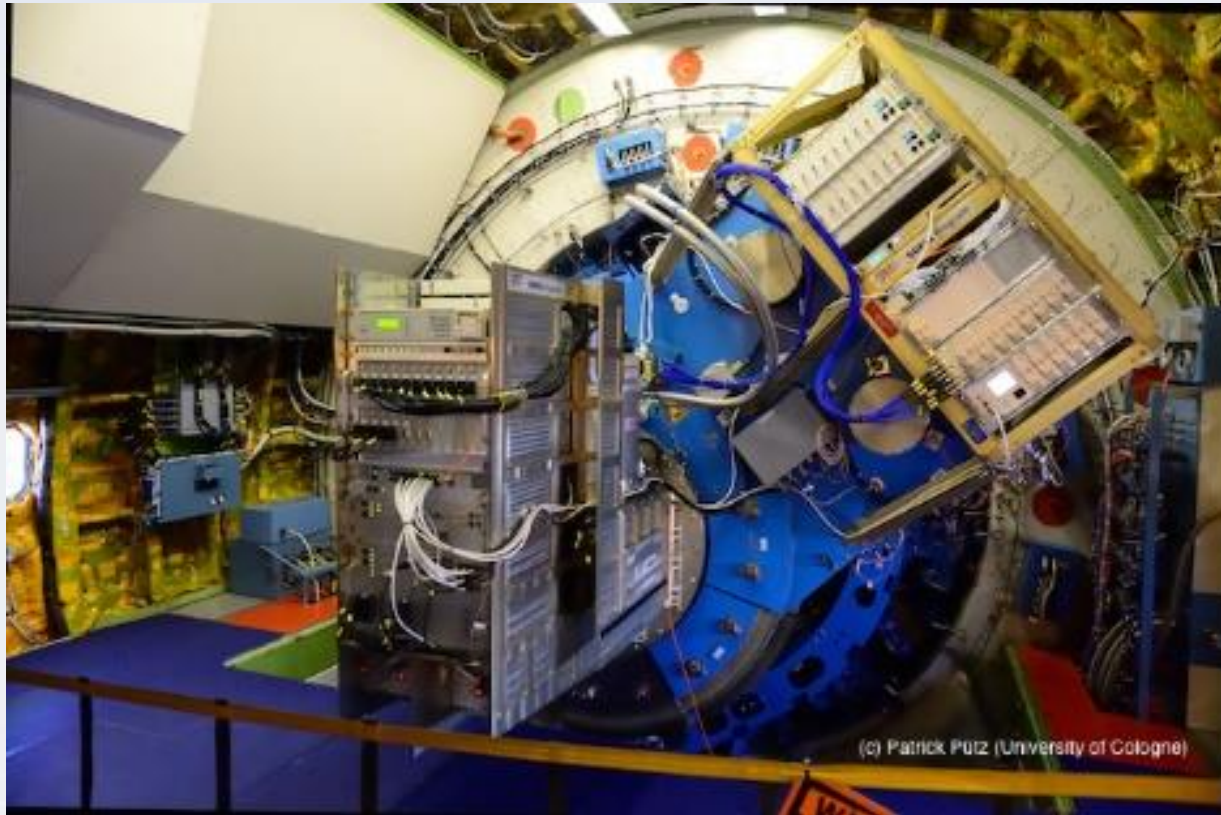
G5.89-0.39



Wellenlänge
Herschel Spektrum

upGREAT - Bonn/Kölner Empfänger

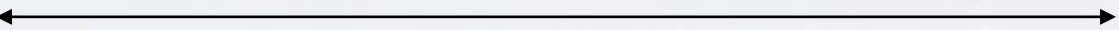
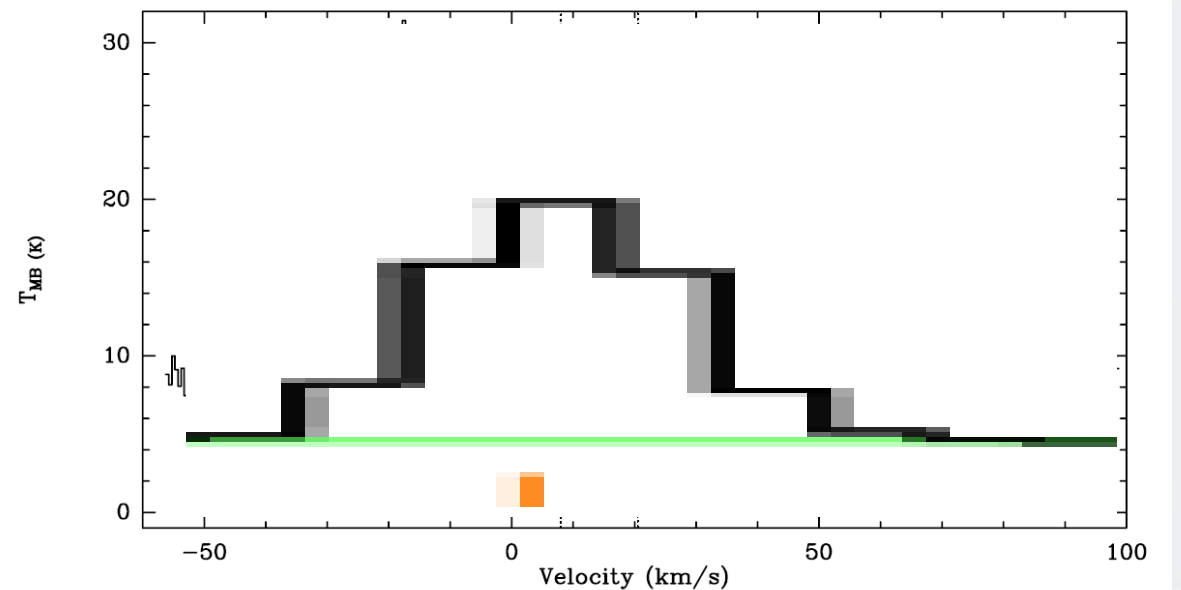
German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies



- Heterodyne Empfänger

- $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \approx 10^8$

Emission von Sauerstoffatomen

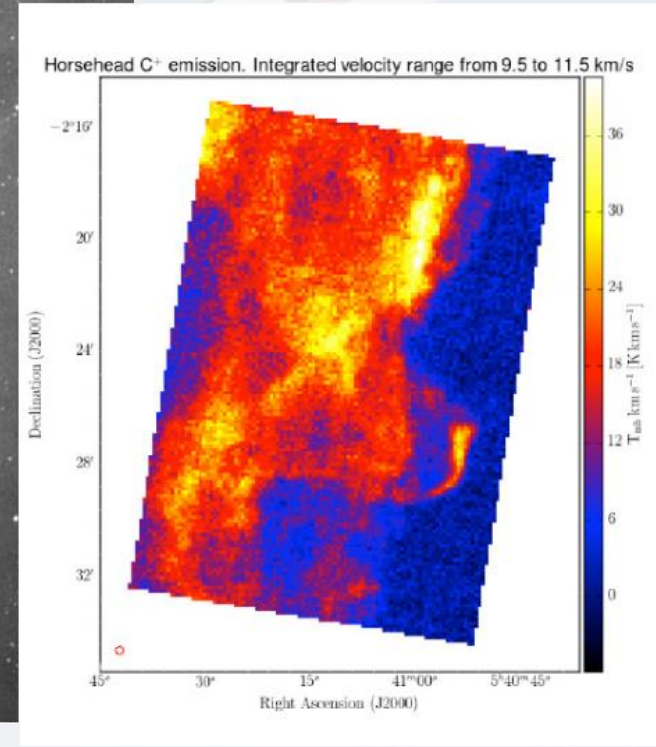
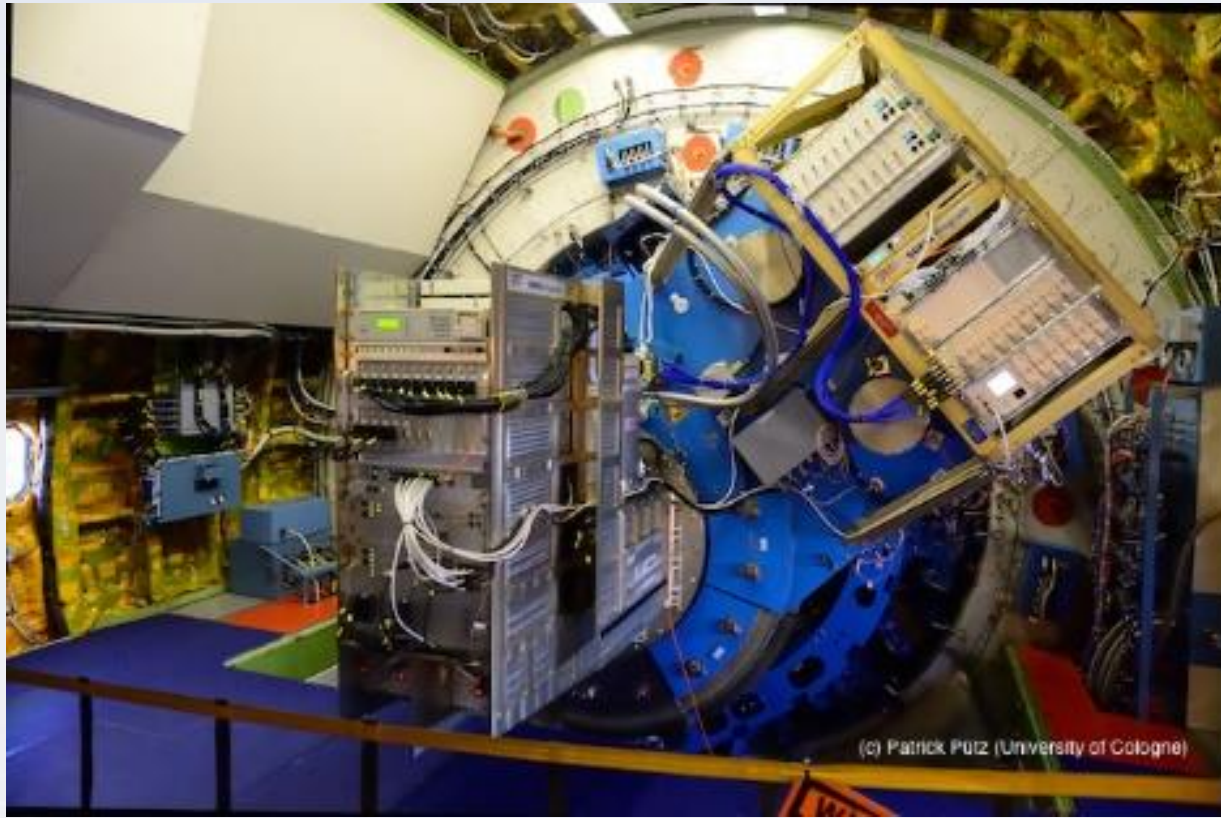


Wellenlänge

SOFIA/Great Spektrum

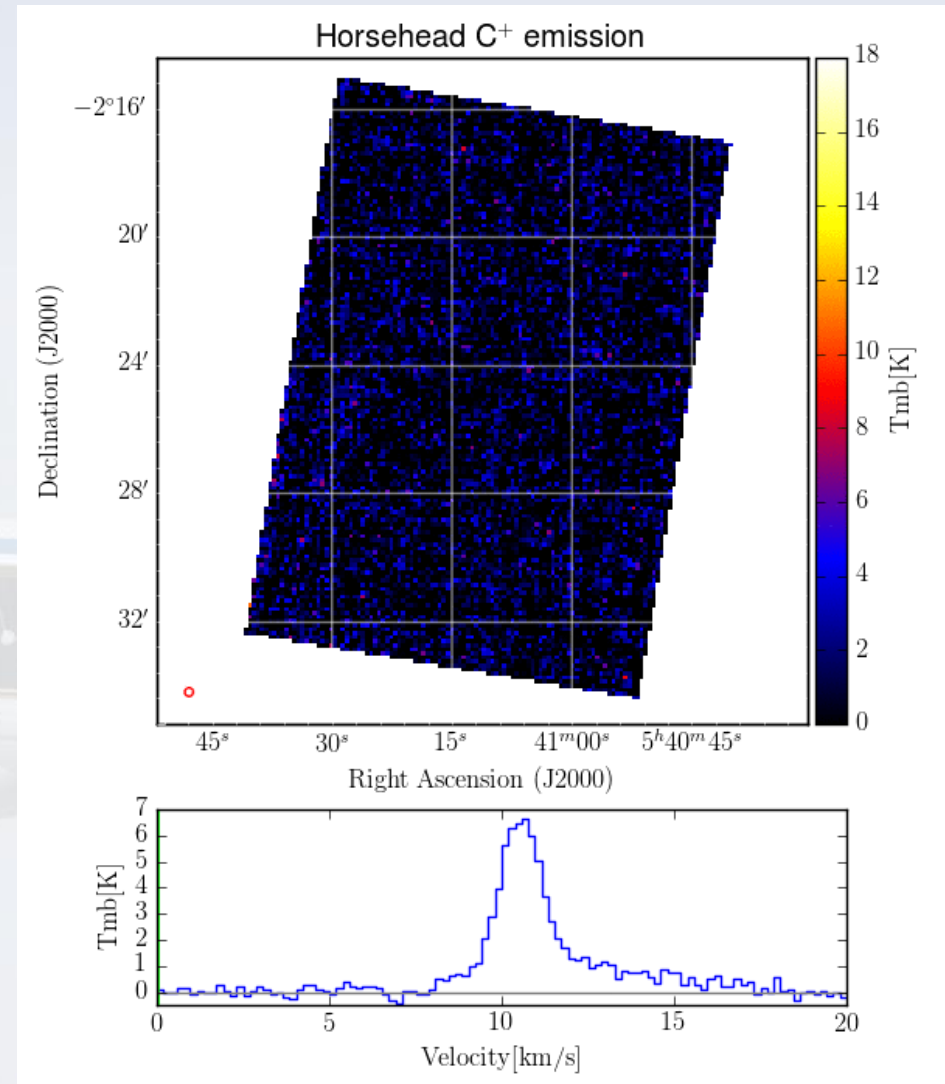
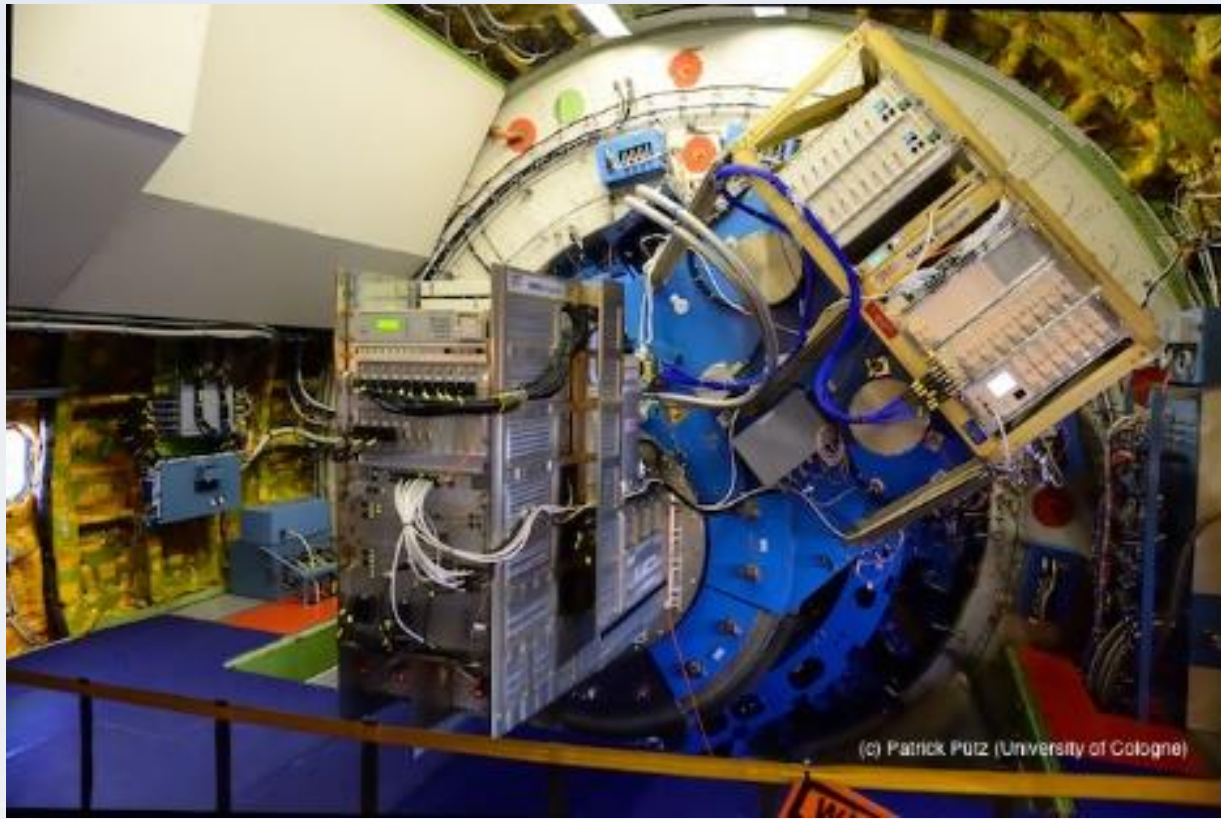
upGREAT - Bonn/Kölnner Empfänger

German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies

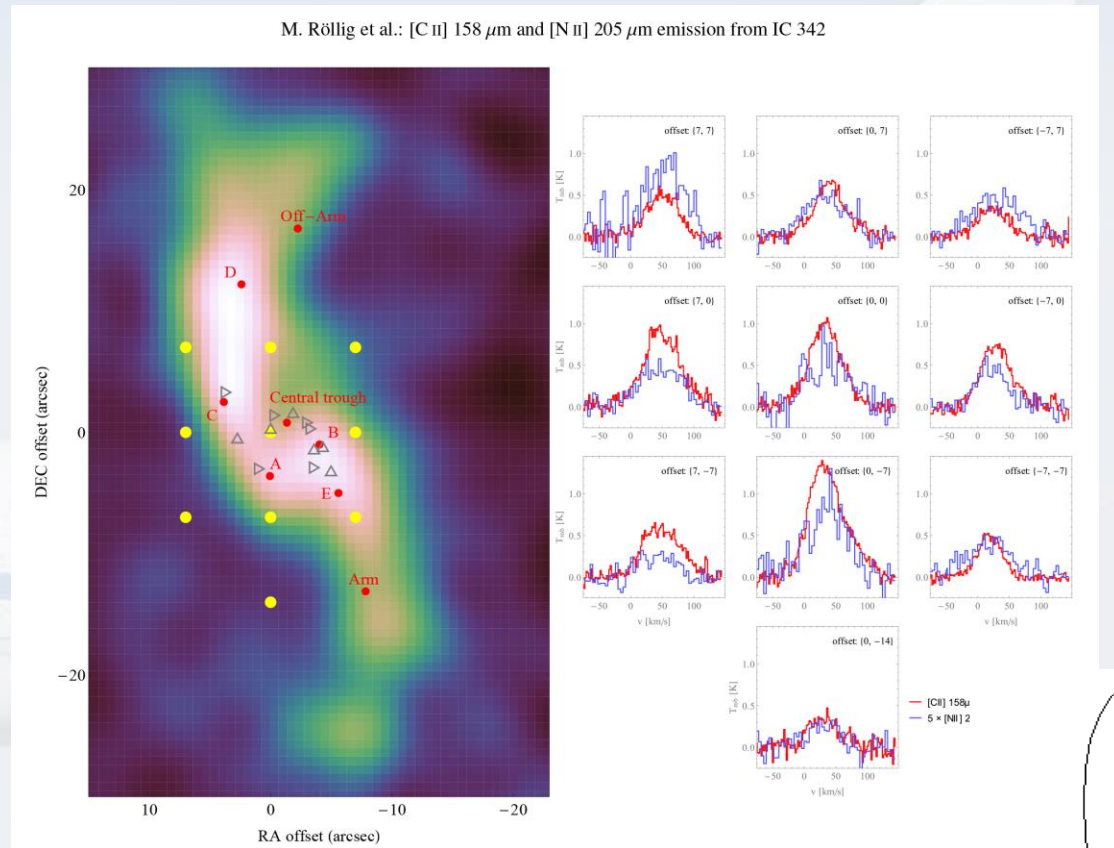
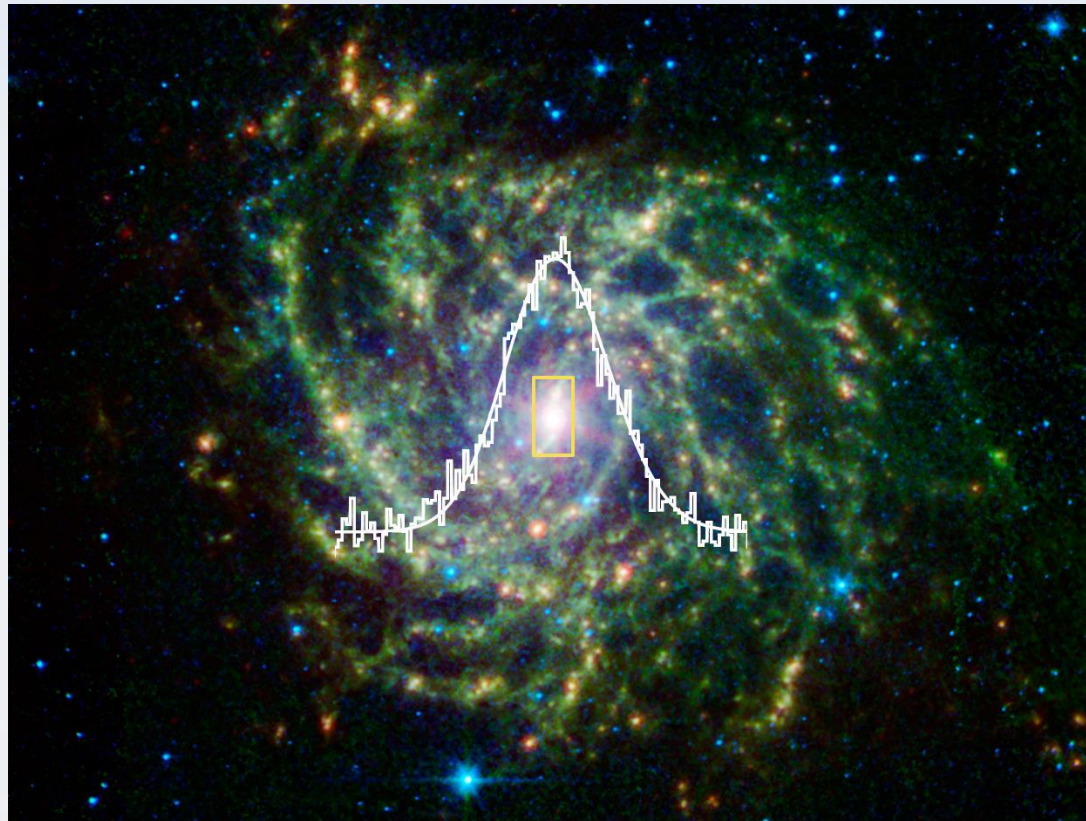


upGREAT - Bonn/Kölnner Empfänger

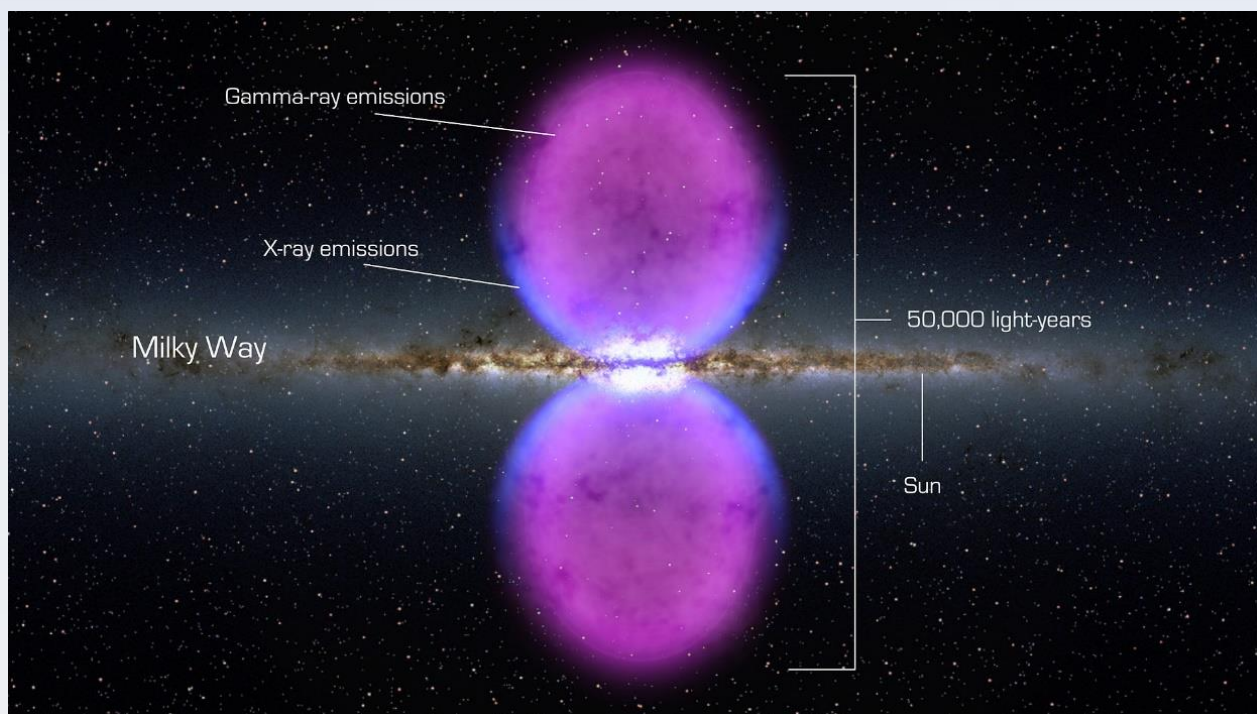
German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies



IC 342 – in den Kern einer Galaxie

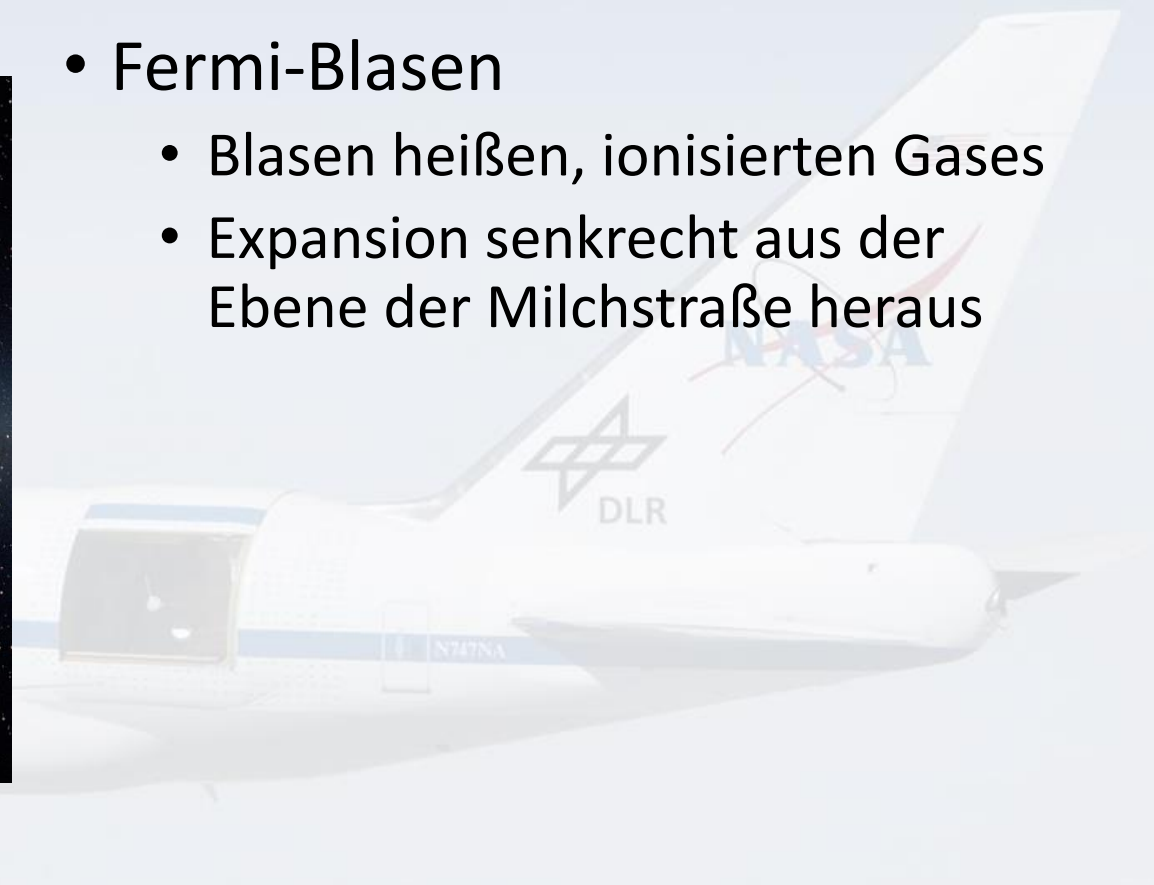


„Fermi-Blasen“

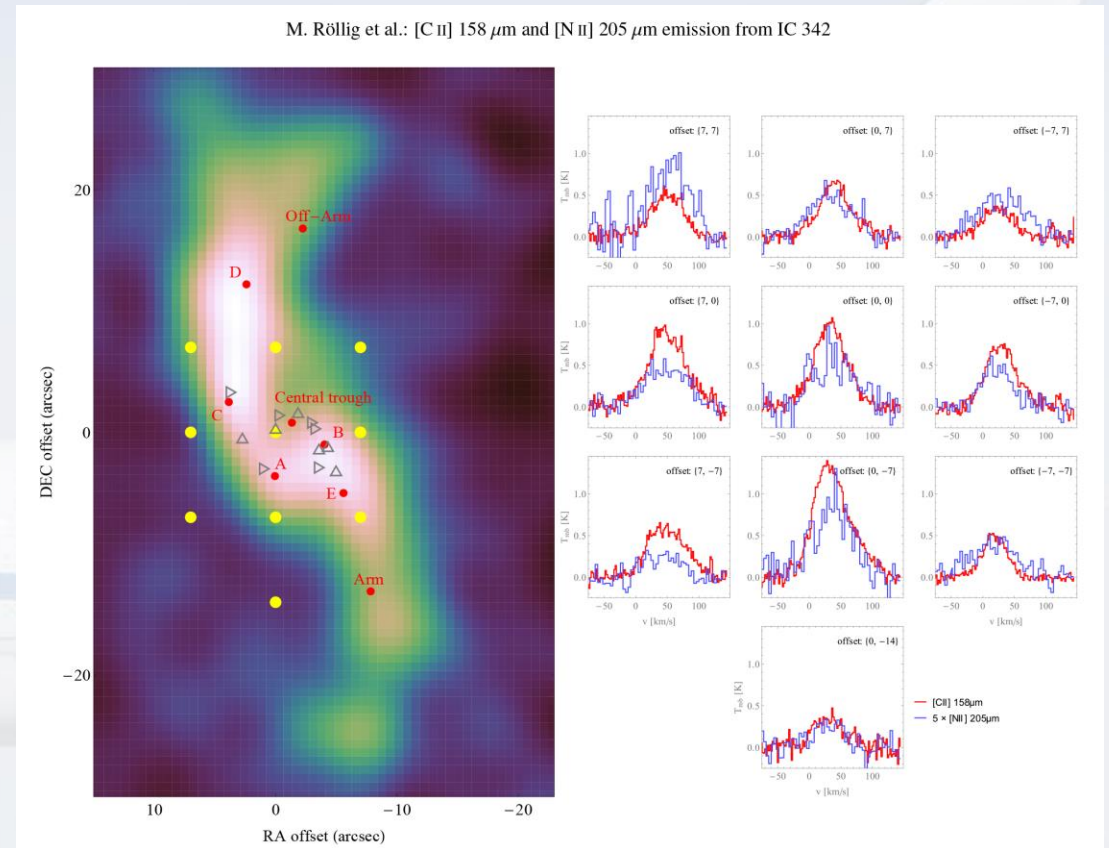
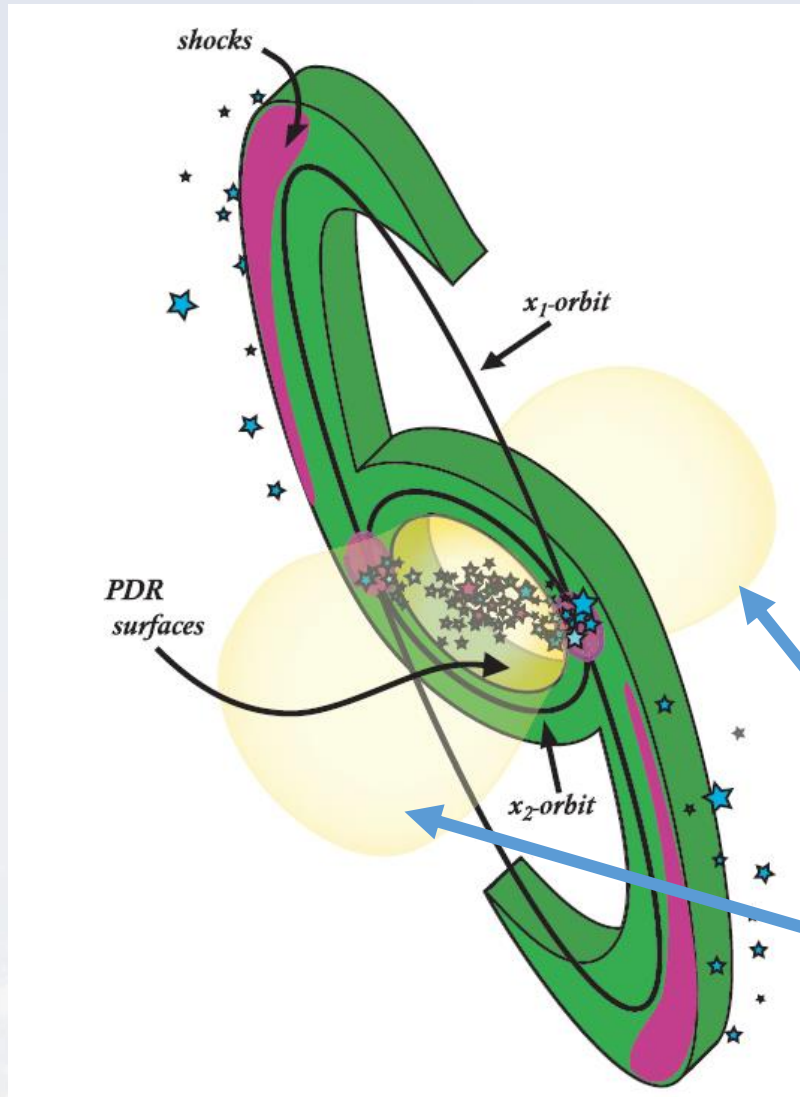


- Fermi-Blasen

- Blasen heißen, ionisierten Gases
- Expansion senkrecht aus der Ebene der Milchstraße heraus



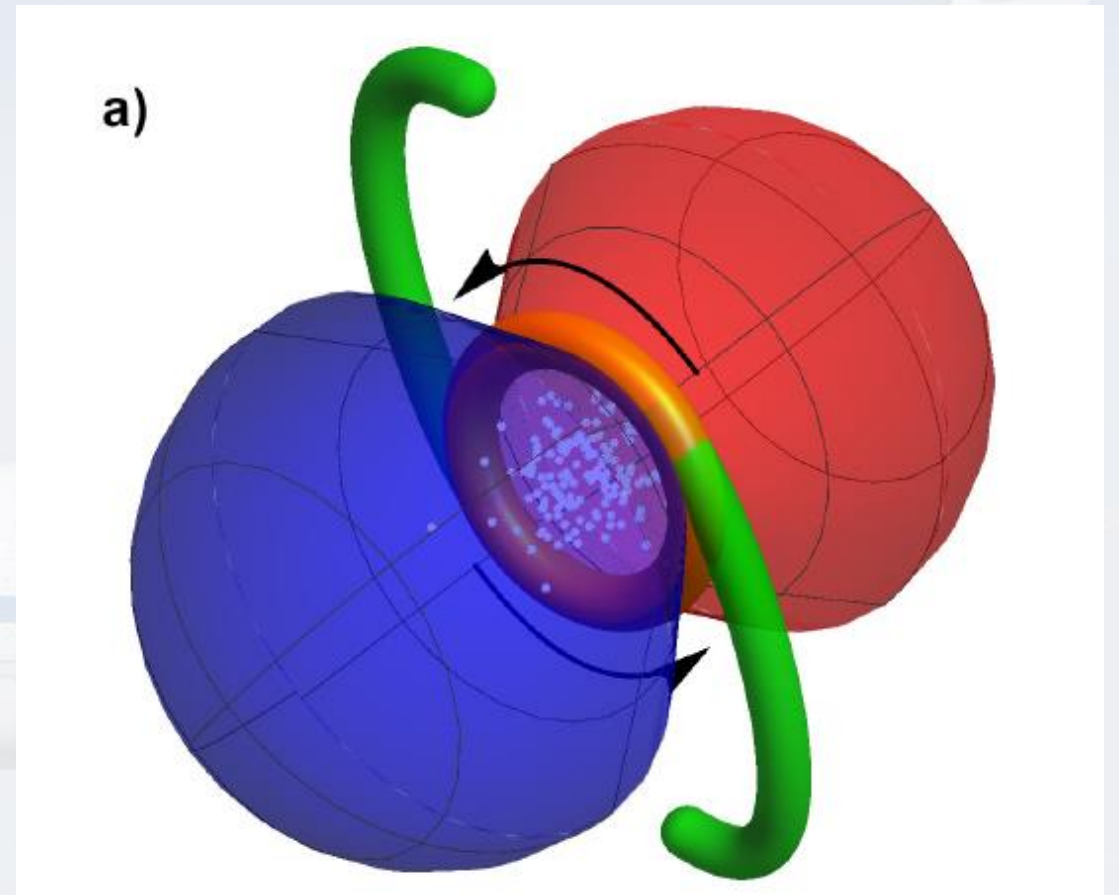
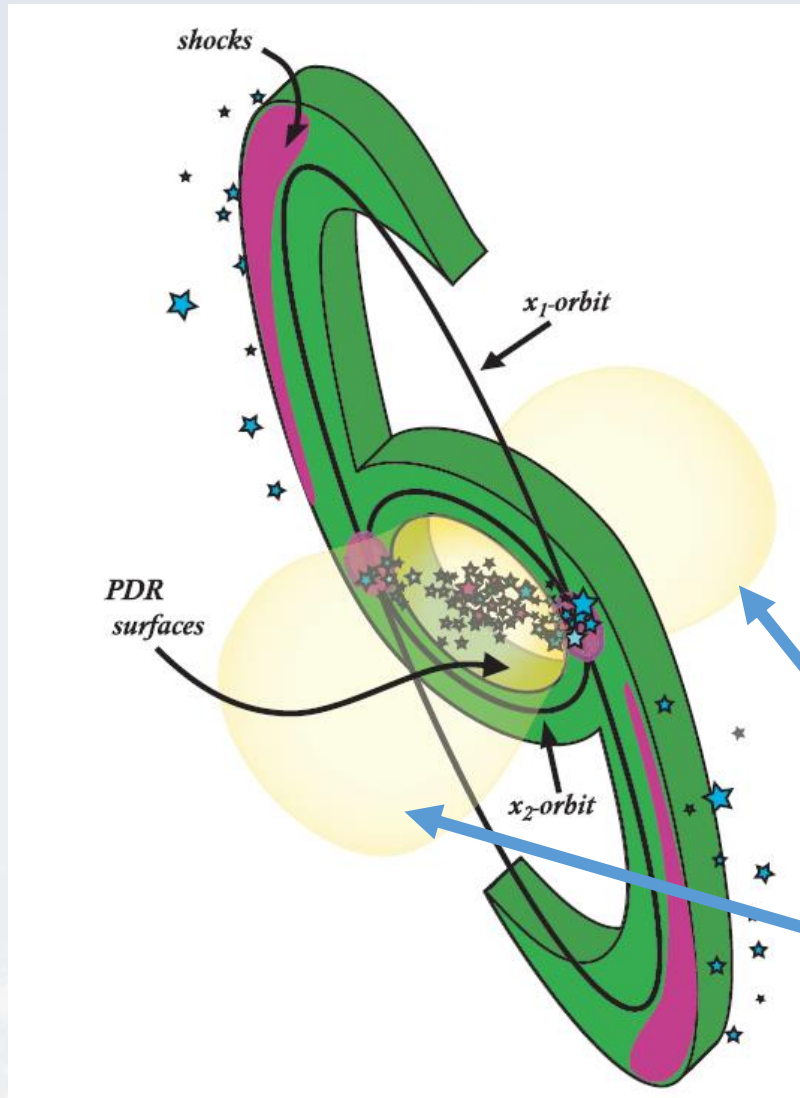
IC 342 – in den Kern einer Galaxie



Blasen heißen H^+ Gases

IC 342 – in den Kern einer Galaxie

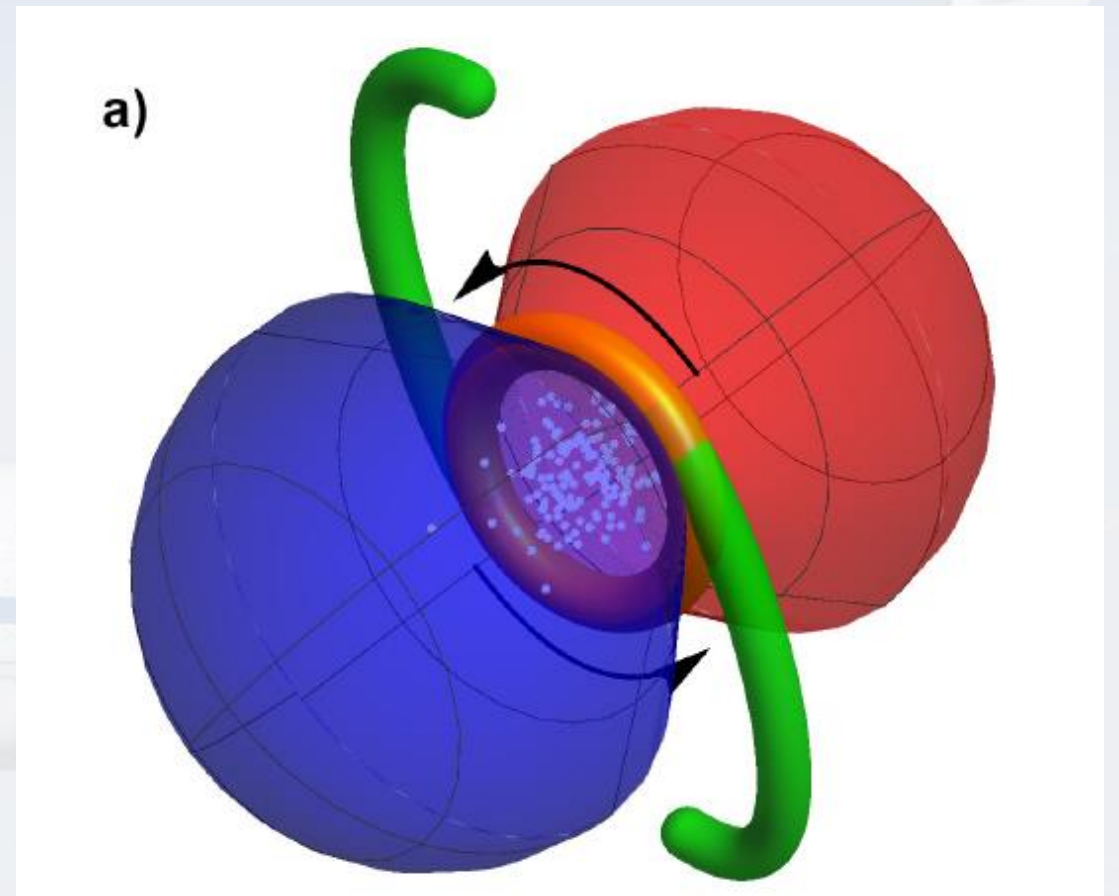
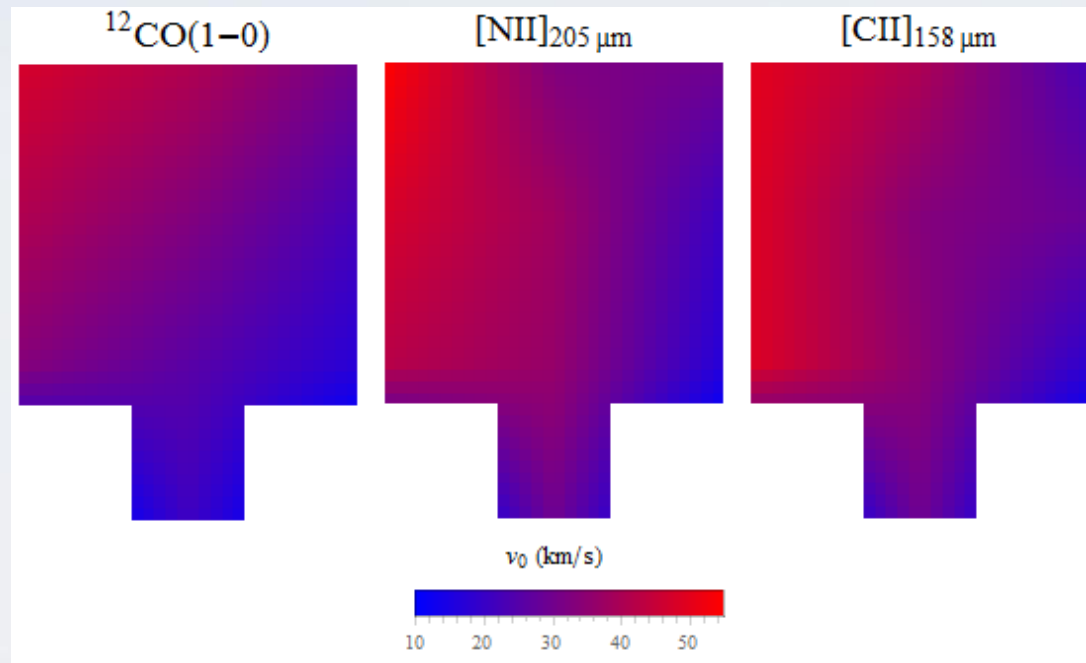
Falls die Vorstellung links stimmt, erwarten wir folgende Doppler-Verschiebung der Frequenzen



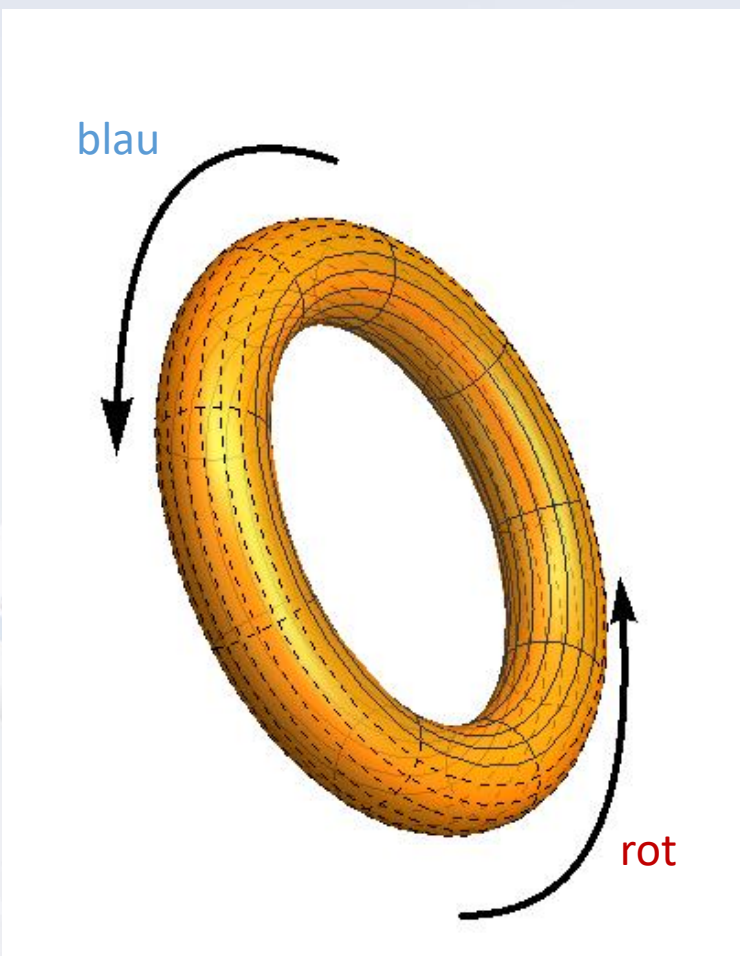
Blasen heißen H^+ Gases

IC 342 – in den Kern einer Galaxie

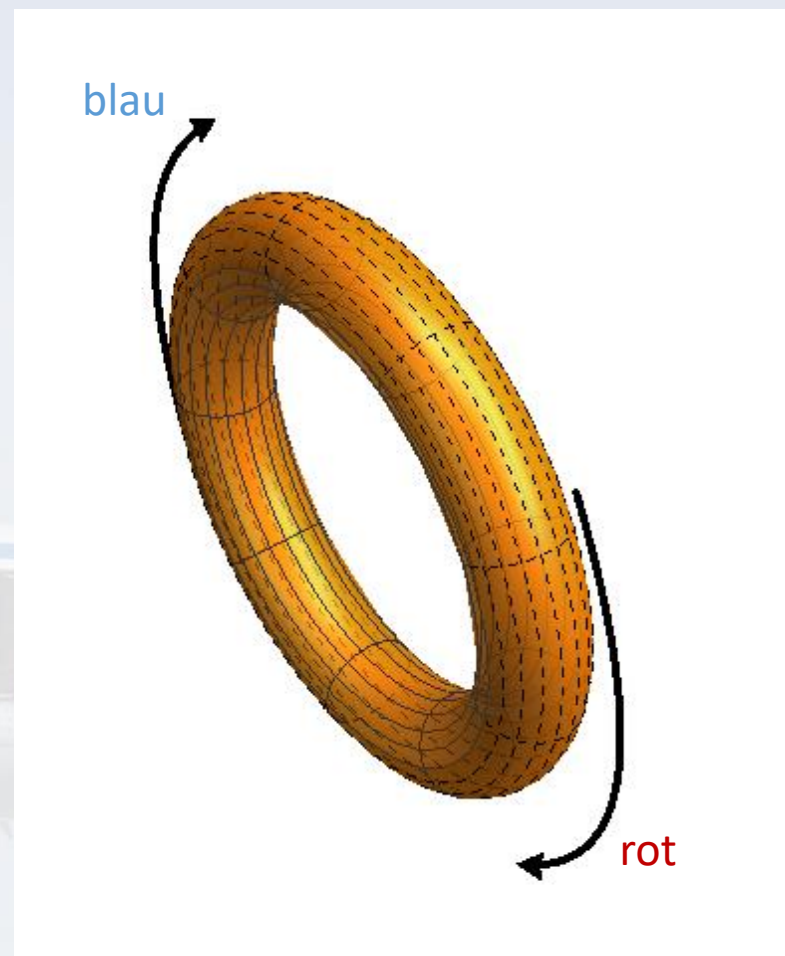
Falls die Vorstellung links stimmt, erwarten wir folgende Doppler-Verschiebung der Frequenzen

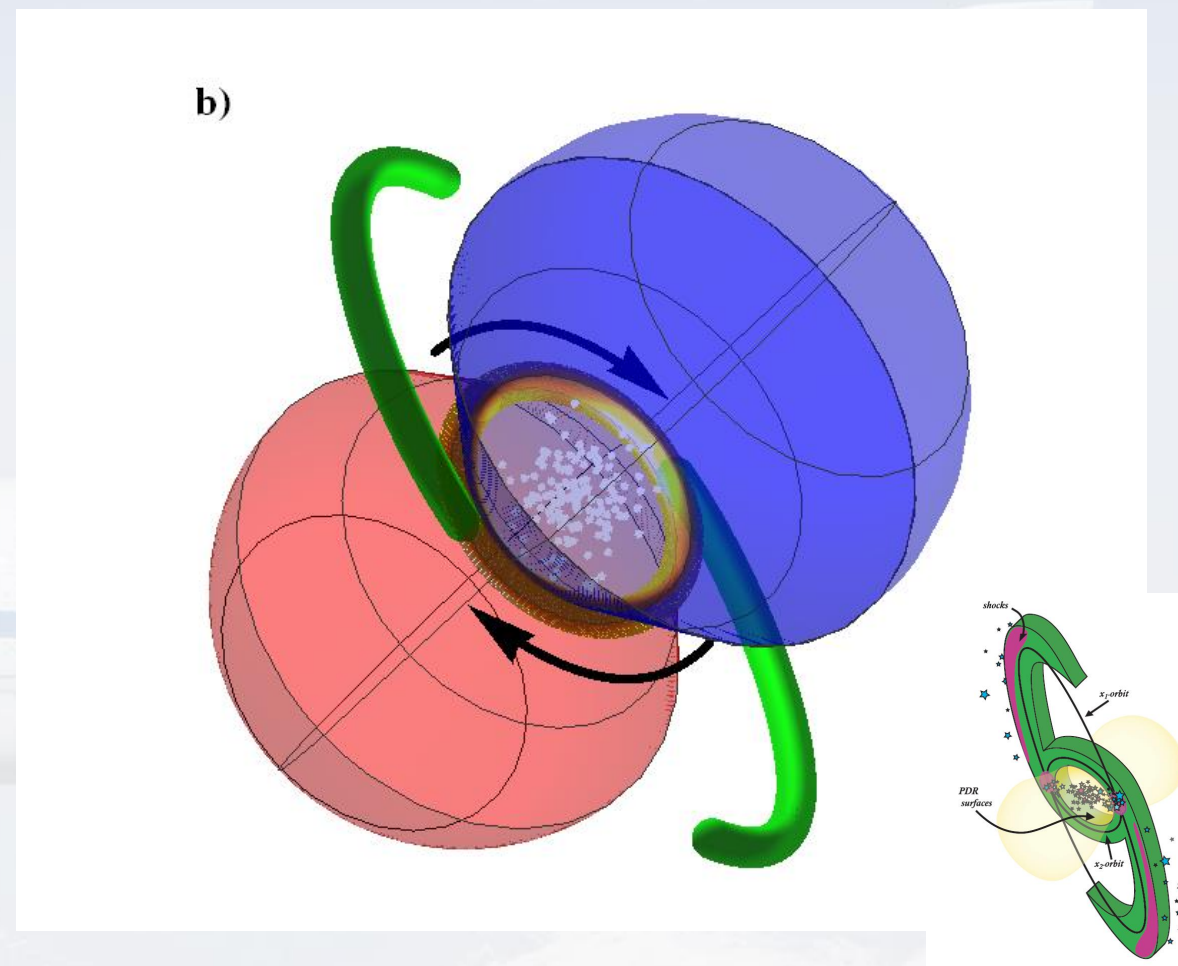
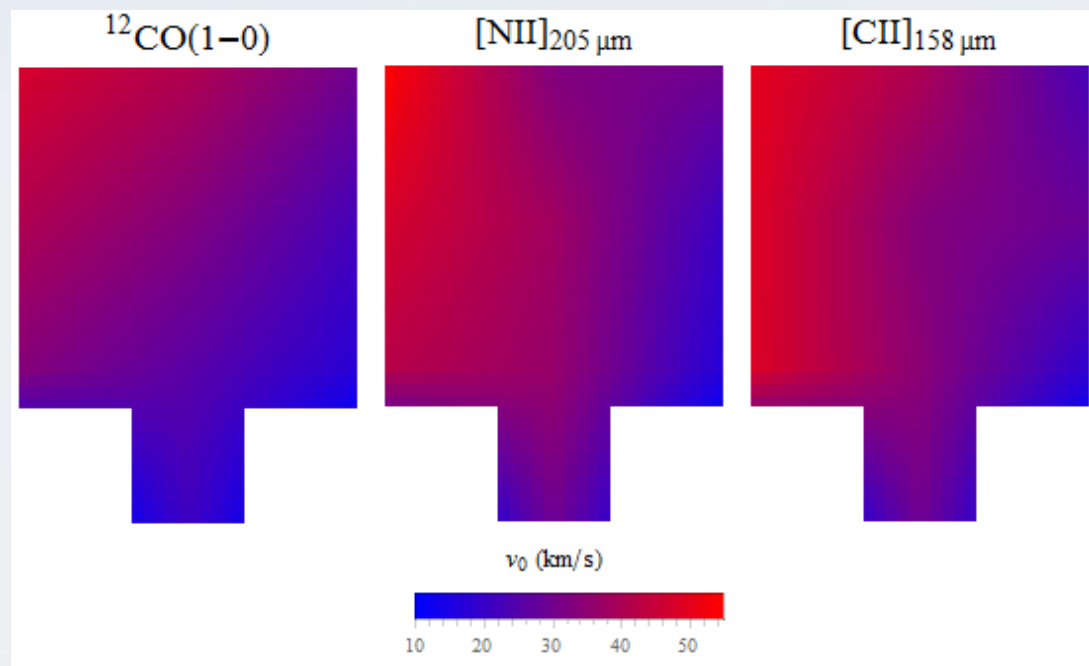


Mehrdeutigkeit im Dopplereffekt

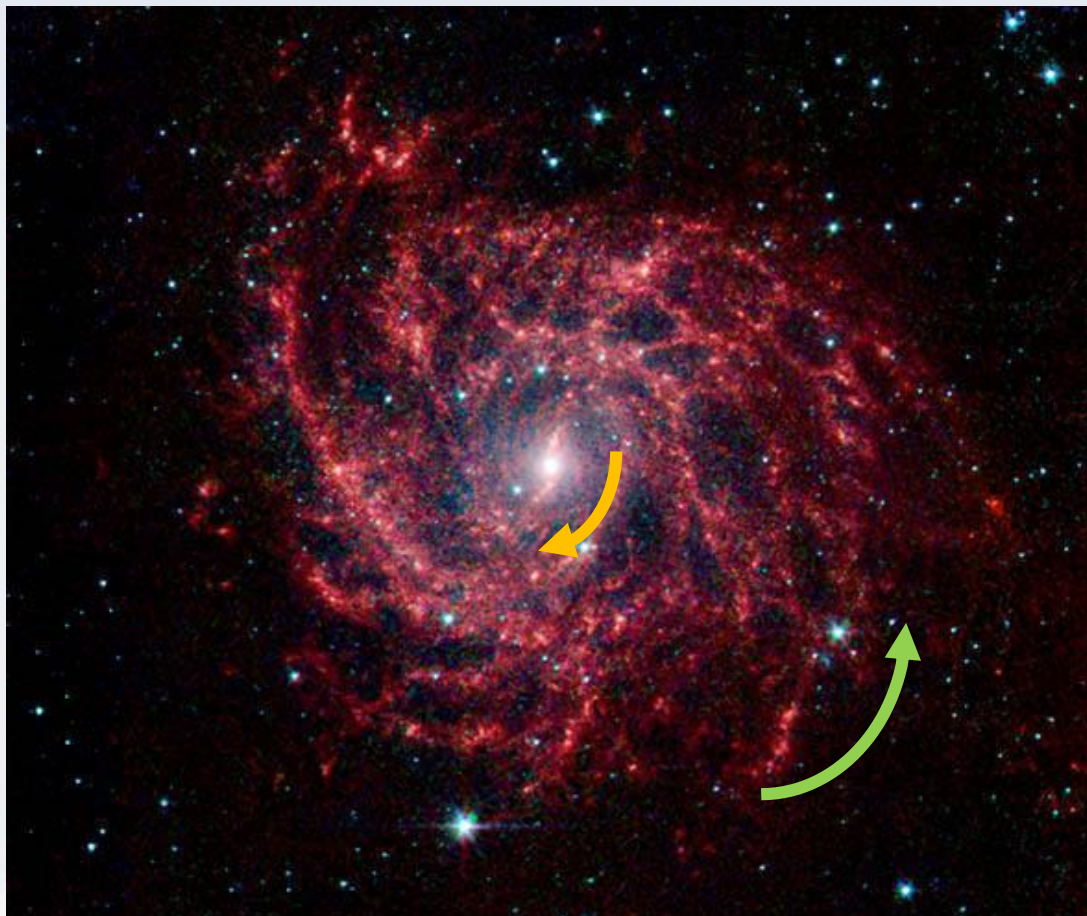


2 possible orientations of the plane

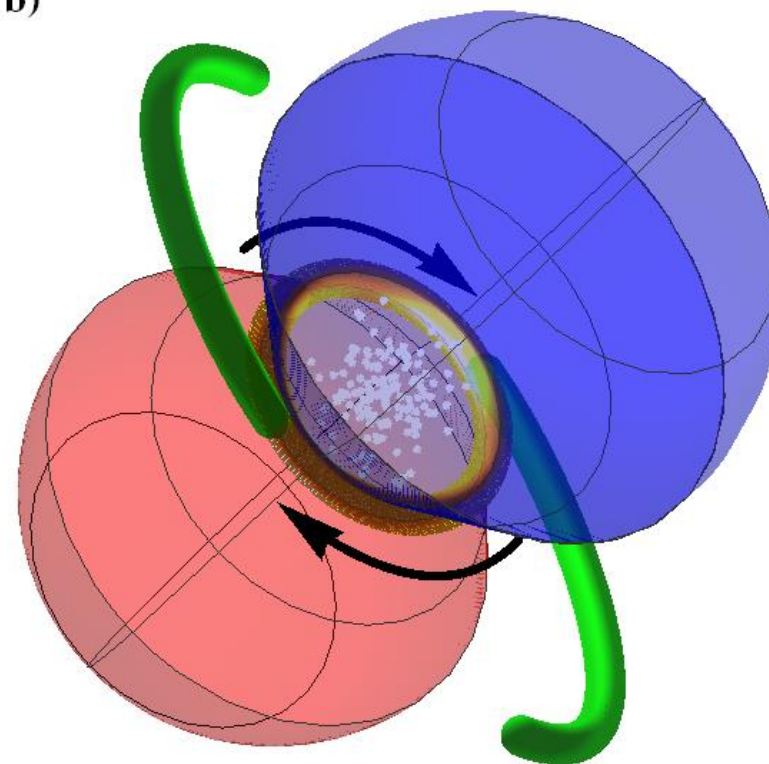




Ungewöhnliche Rotation



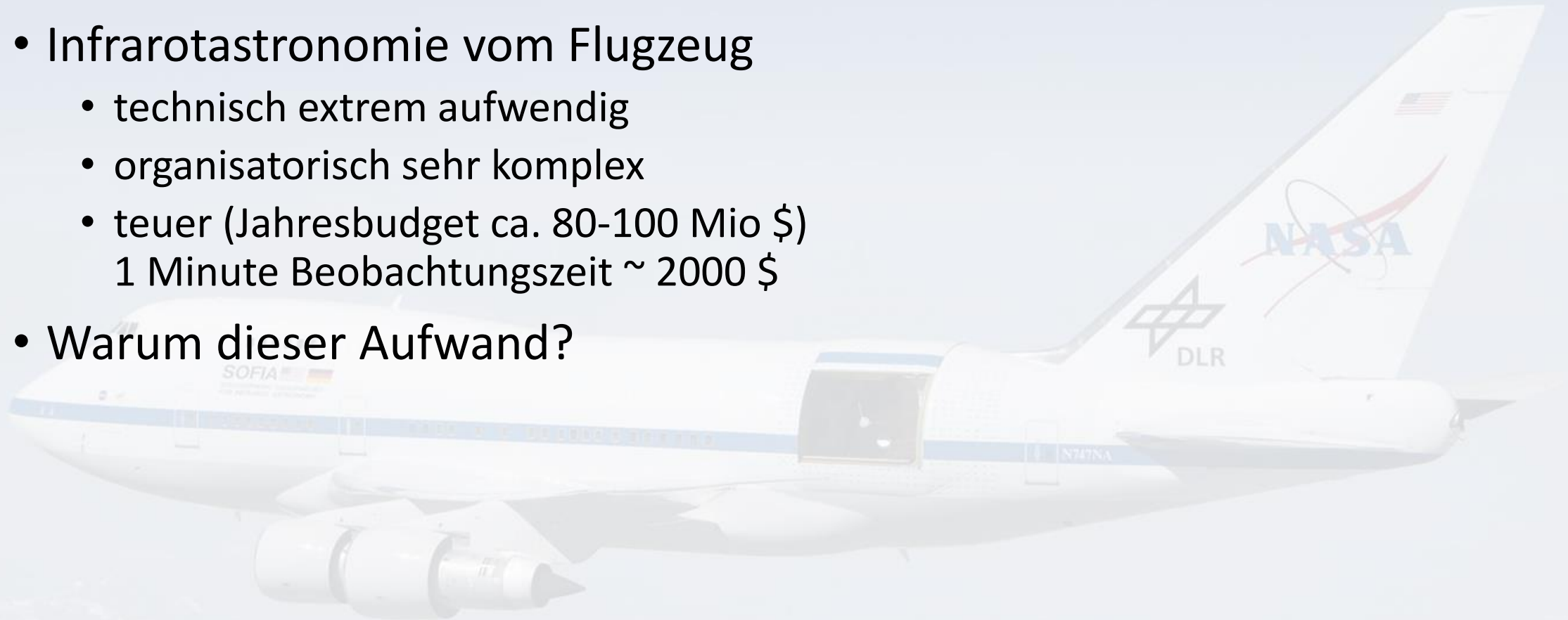
b)



„Leading Arm“ Spirale

SOFIA

- Infrarotastronomie vom Flugzeug
 - technisch extrem aufwendig
 - organisatorisch sehr komplex
 - teuer (Jahresbudget ca. 80-100 Mio \$)
1 Minute Beobachtungszeit ~ 2000 \$
- Warum dieser Aufwand?



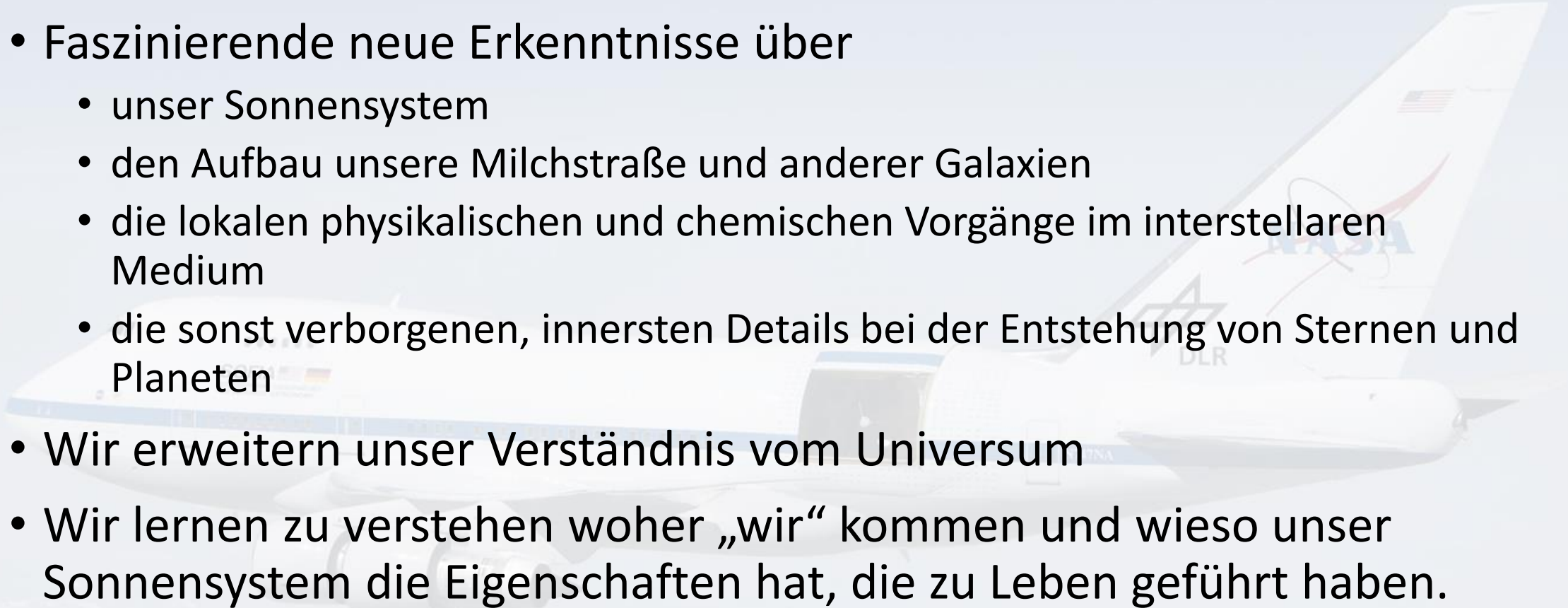
Warum dieser Aufwand?

- Flüge in der Stratosphäre erlauben Beobachtungen, die sonst gar nicht möglich wären.
- Ausnahme: Satellitenmissionen
- Bsp: Herschel Weltraumteleskop
 - Missionsdauer ~ 4 Jahre
 - Gesamtkosten: 1100 Mio €
 - Nachteil: Technik bei Start schon veraltet
- Wissenschaftliche Instrumente auf SOFIA werden ständig erneuert und verbessert.
- Über 20 Jahre Laufzeit entwickelt sich auch der Stand der Forschung



Quelle: ESA

Warum dieser Aufwand?

- Faszinierende neue Erkenntnisse über
 - unser Sonnensystem
 - den Aufbau unsere Milchstraße und anderer Galaxien
 - die lokalen physikalischen und chemischen Vorgänge im interstellaren Medium
 - die sonst verborgenen, innersten Details bei der Entstehung von Sternen und Planeten
 - Wir erweitern unser Verständnis vom Universum
 - Wir lernen zu verstehen woher „wir“ kommen und wieso unser Sonnensystem die Eigenschaften hat, die zu Leben geführt haben.
- 

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**