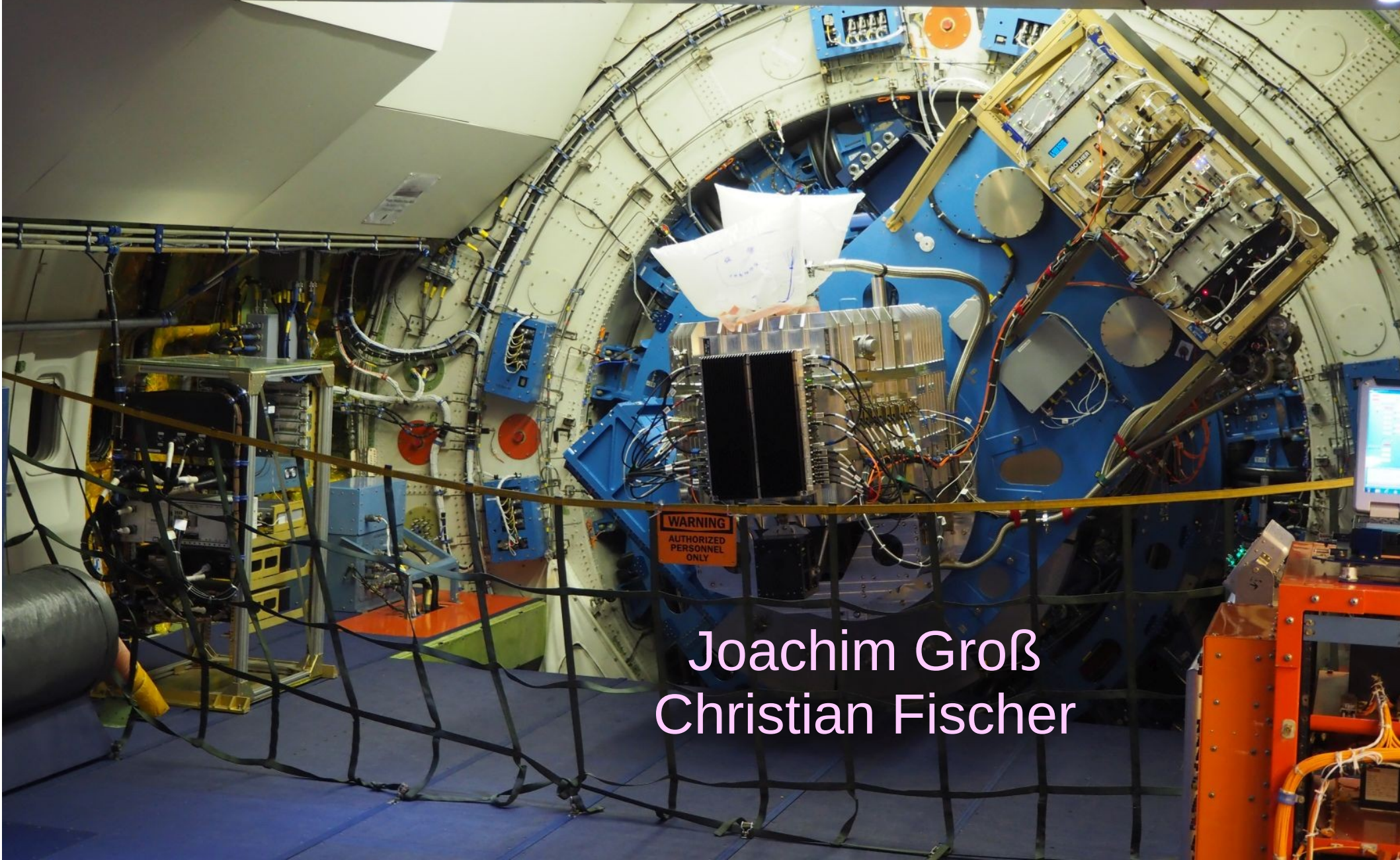


Auswertung von SOFIA-Daten mit Schülern



Joachim Groß
Christian Fischer

Anlass: SGAP



- „SOFIA German Ambassador Program“
- Mitflug auf Antrag möglich (Termin jährlich im Frühjahr)
- Einblick hinter die Kulissen des Forschungsbetriebs einer Flugzeugsternwarte

Motivation

Schüler ...

- arbeiten mit echten, relativ aktuellen Daten
- erkennen die Bedeutung der Infrarotastronomie
- erhalten Einblick in die Auswertungsmethoden
- lernen aktuelle Forschungsthemen der Astronomie kennen

Hintergrund: Wie die Daten entstehen

- 1) Antrag eines Wissenschaftlers auf Beobachtung eines Objektes
- 2) Begutachtung, Auswahl der Beobachtungsziele
- 3) Missionsplanung (was wird auf welchem Flug beobachtet)
- 4) Mission: Rohdaten werden aufgezeichnet
- 5) Auswertungs pipeline: Kalibrierung, Kombination, Konvertierung
- 6) Archivierung auf NASA Server

Hintergrund: Wie die Daten entstehen

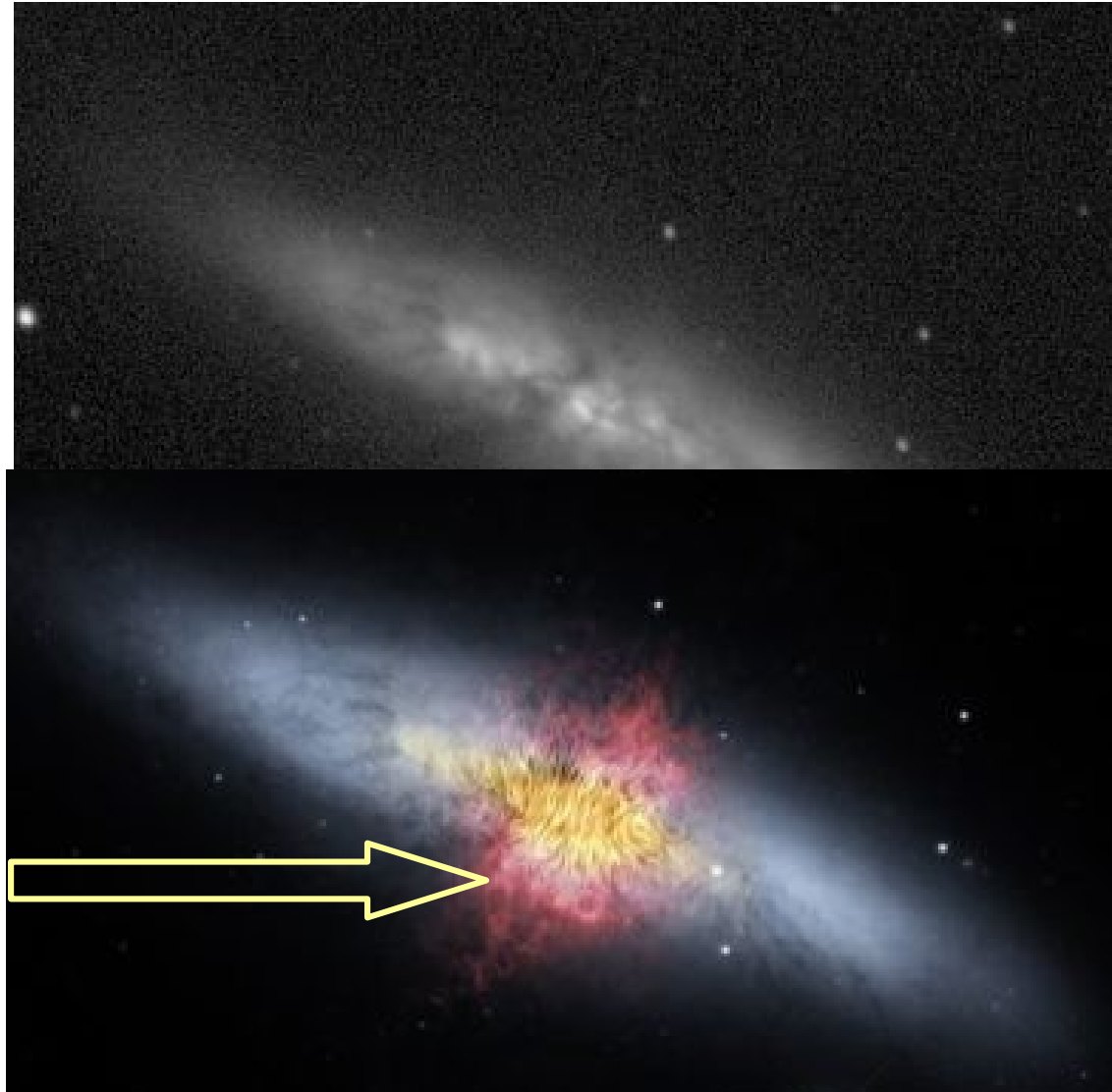
- 7) Auftraggeber haben 1 Jahr exklusiven Zugriff
- 8) Wissenschaftliche Auswertung, Publikation
- 9) Öffentlicher Zugriff (Wir!)

Vorarbeiten des Lehrers

- Installation der Programme
 - Python - Umgebung Anaconda
 - SOSPEX
- Zugang zu den Daten
 - Account beim SOFIA Science Center beantragen
- Datensatz auswählen und herunter laden
 - z.B. M82 (Beispieldatensatz mit guter Signalqualität)

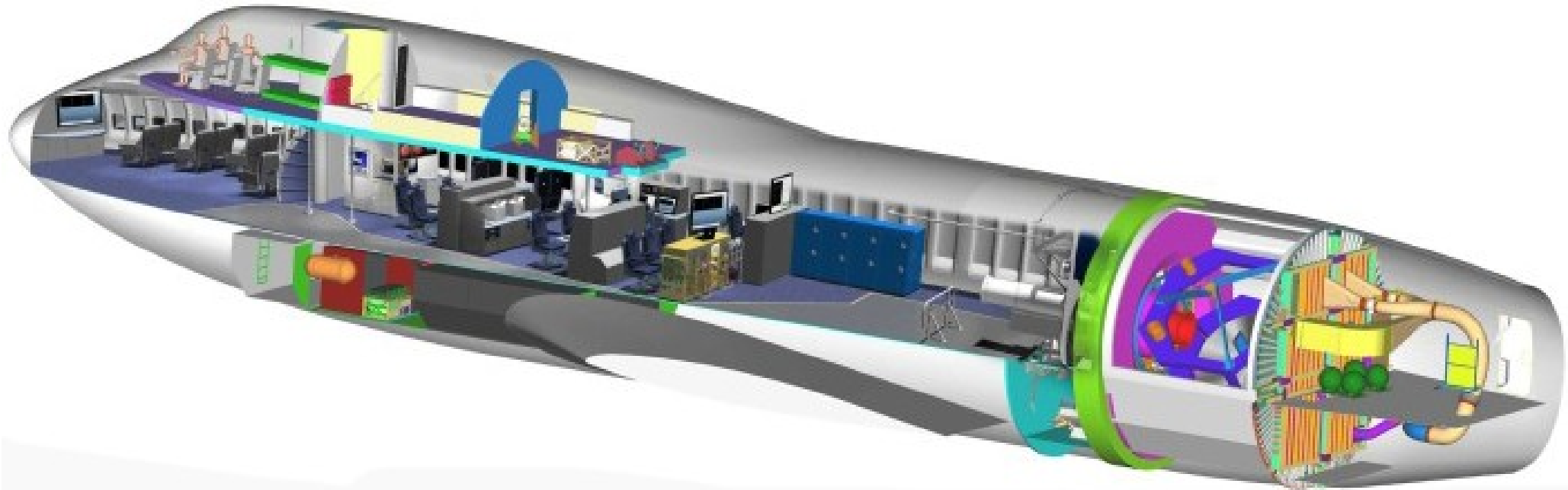
M82

- „Zigarren-Galaxie“
- Starburst durch Wechselwirkung mit M81
- Gasstrom senkrecht zur Hauptebene durch Sternentstehung



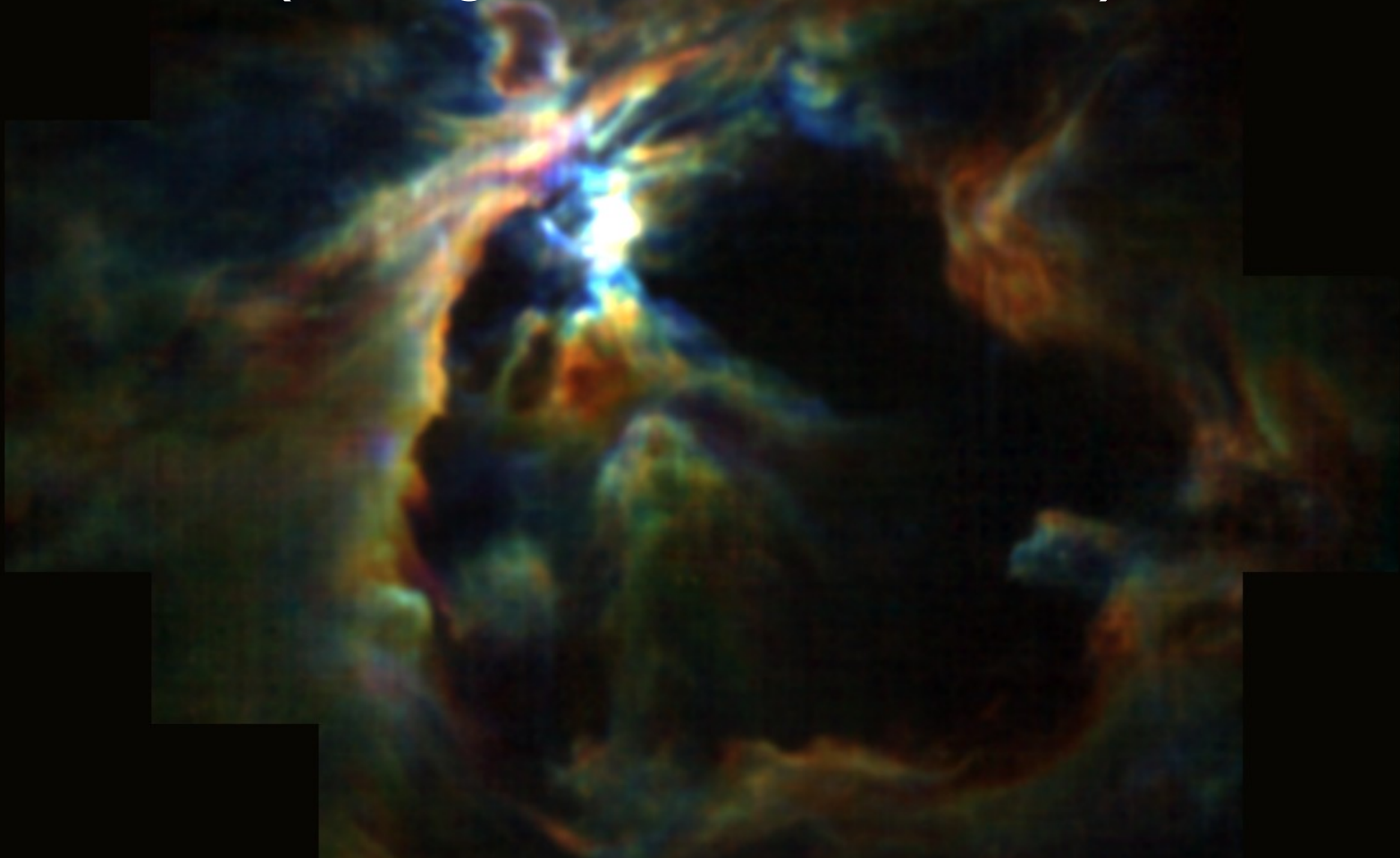
Vorwissen der Schüler

- Was ist SOFIA? → ein IR-Observatorium



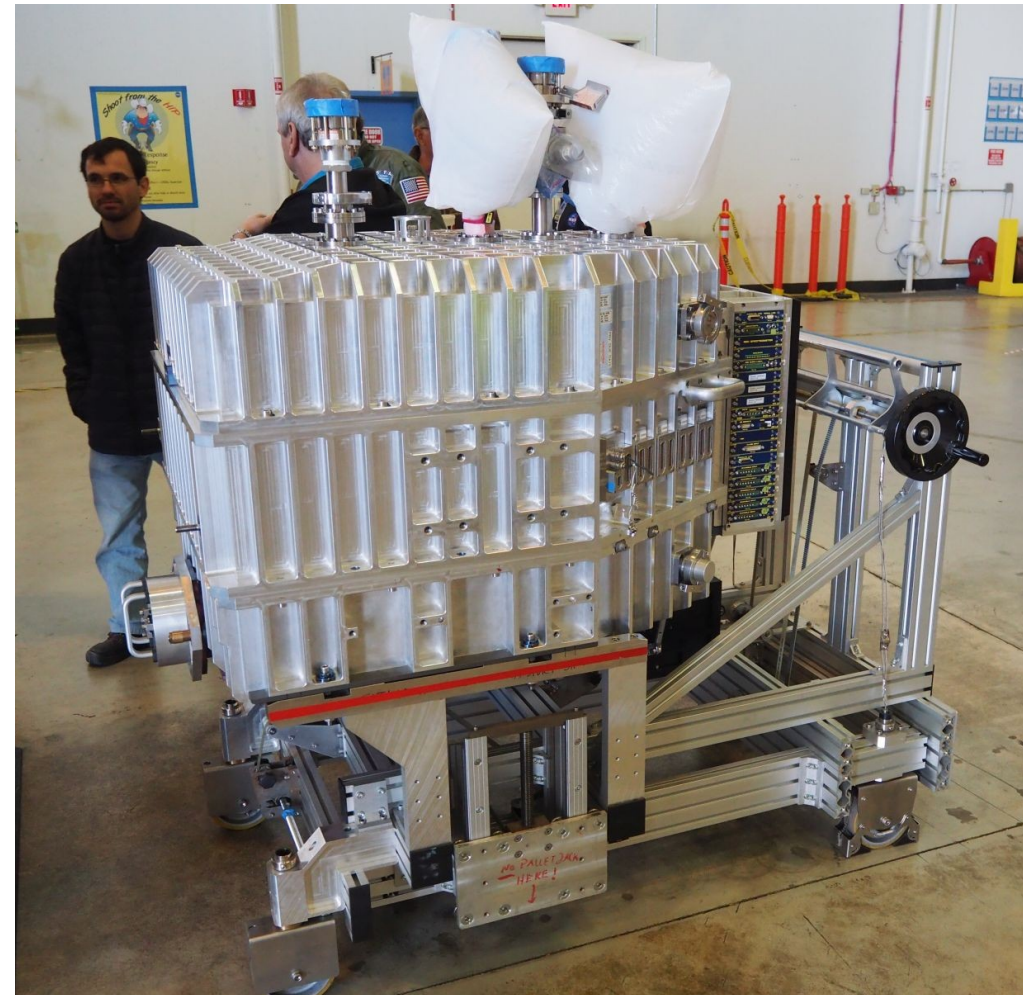
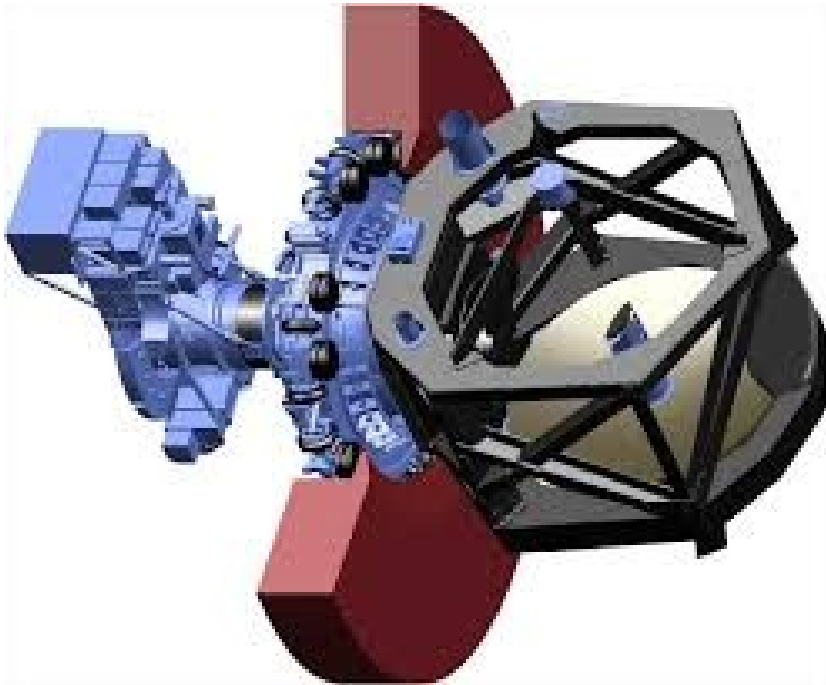
Vorwissen der Schüler

- Was sieht man mit SOFIA? → kalte Objekte im Weltraum (wenige K ... hunderte K)



Vorwissen der Schüler

- Teleskop (SOFIA) - Instrument hier: **FIFI-LS**
(**F**ar **I**nfrared **F**ield-**I**maging **L**ine **S**pectrometer)



Vorwissen der Schüler

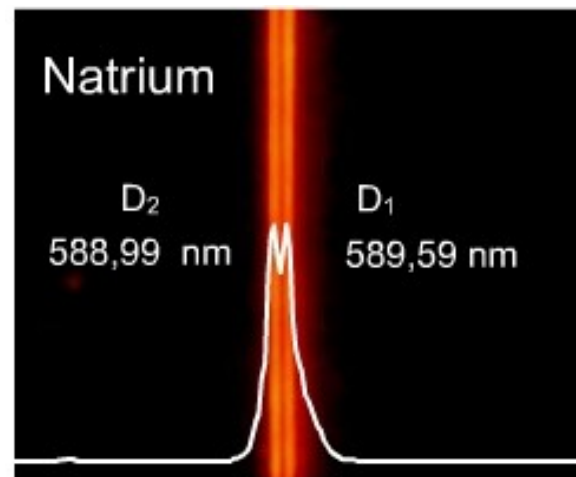
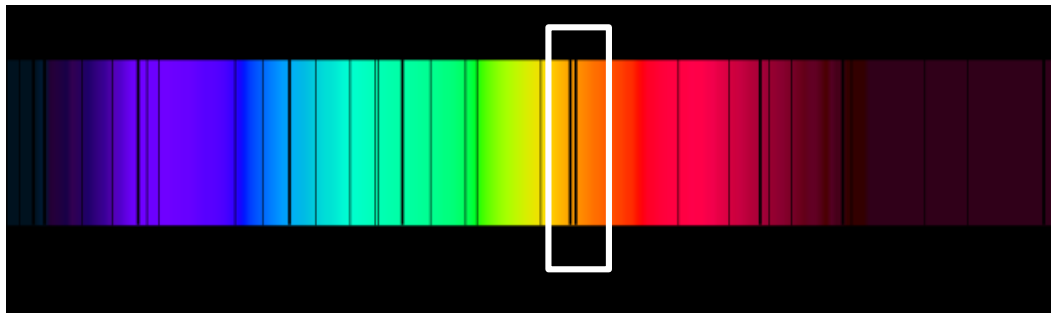
- Was ist SOFIA? → ein IR-Observatorium
- Was sieht man mit SOFIA? → kalte Objekte im Weltraum (wenige K ... hunderte K)
- Teleskop (SOFIA) - Instrument hier: **FIFI-LS** (Far Infrared **F**ield-**I**maging **L**ine **S**pectrometer)
- Warum „Line Spectrometer“?
- Struktur der Daten - „Cubes“
- Auswertungstool **SOSPEX** (**S**ofia **S**Pectral **E**Xplorer)

Vorwissen der Schüler

- Warum „Line Spectrometer“?
- Struktur der Daten - „Cubes“
- Auswertungstool **SOSPEX** (**SO**fia **SP**ectral **EX**plorer)

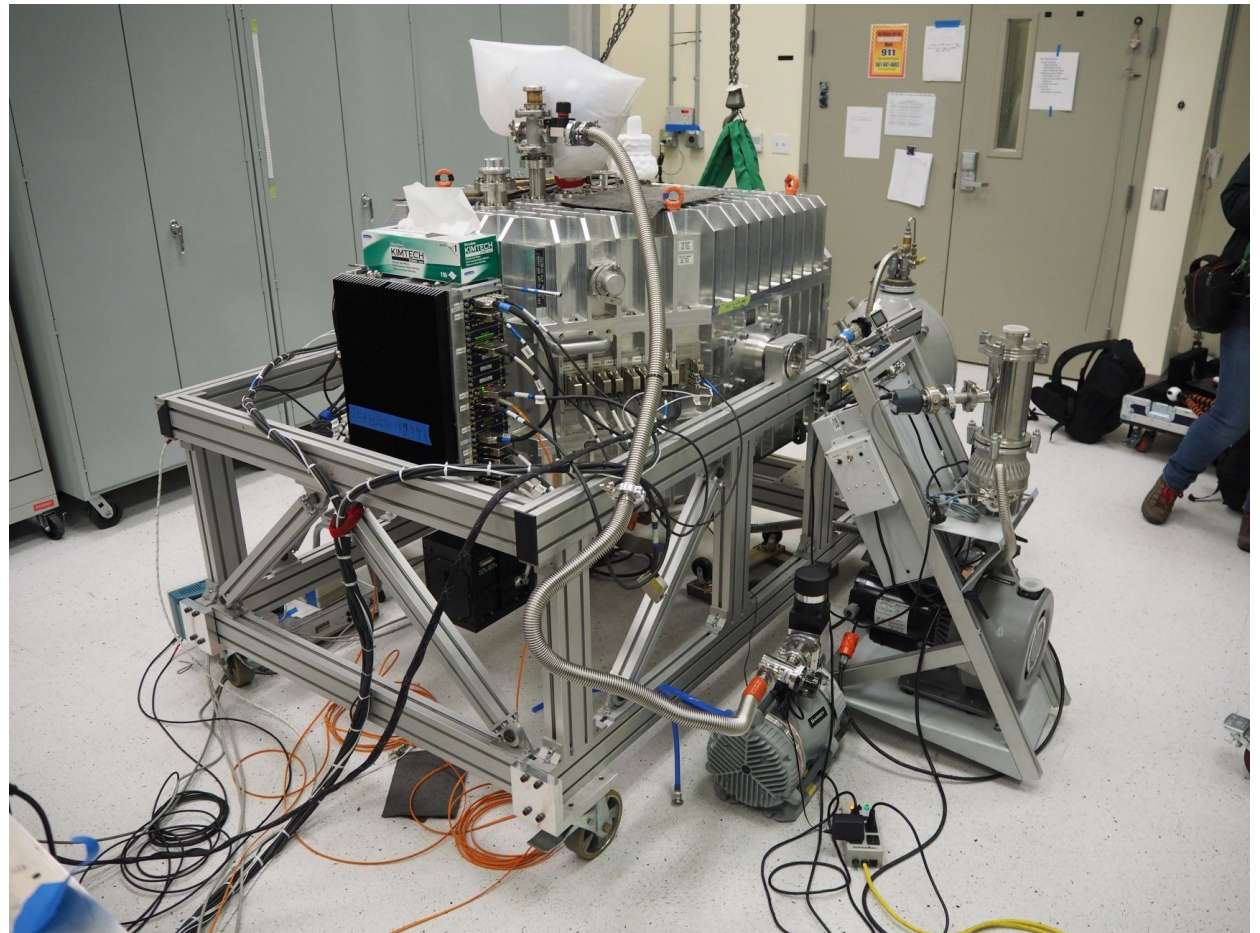
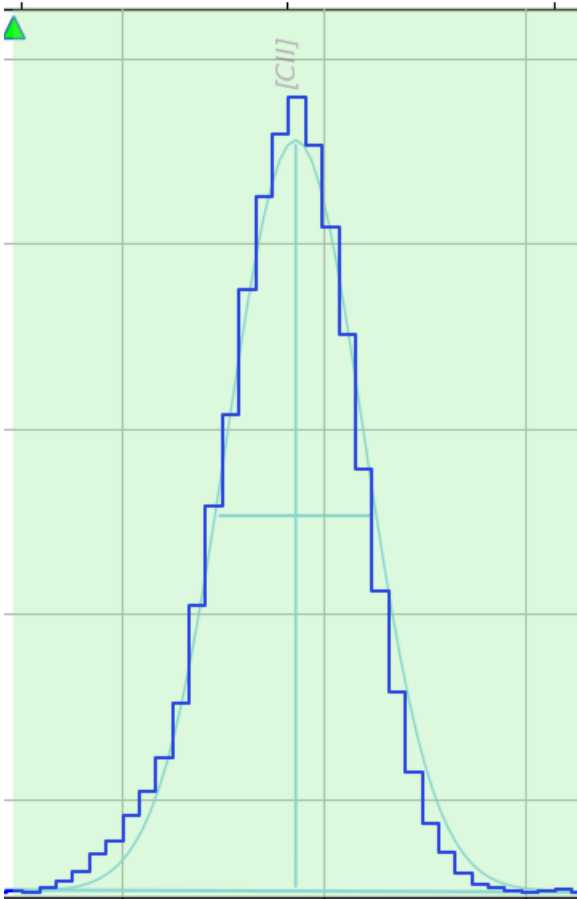
Wozu ein Linienspektrometer?

- Gas und Staub emittieren Infrarotlicht
- Am meisten erfahren wir über die Quelle (das Gas) über Spektren: es leuchtet in einer bestimmten, bekannten Farbe (Wellenlänge)



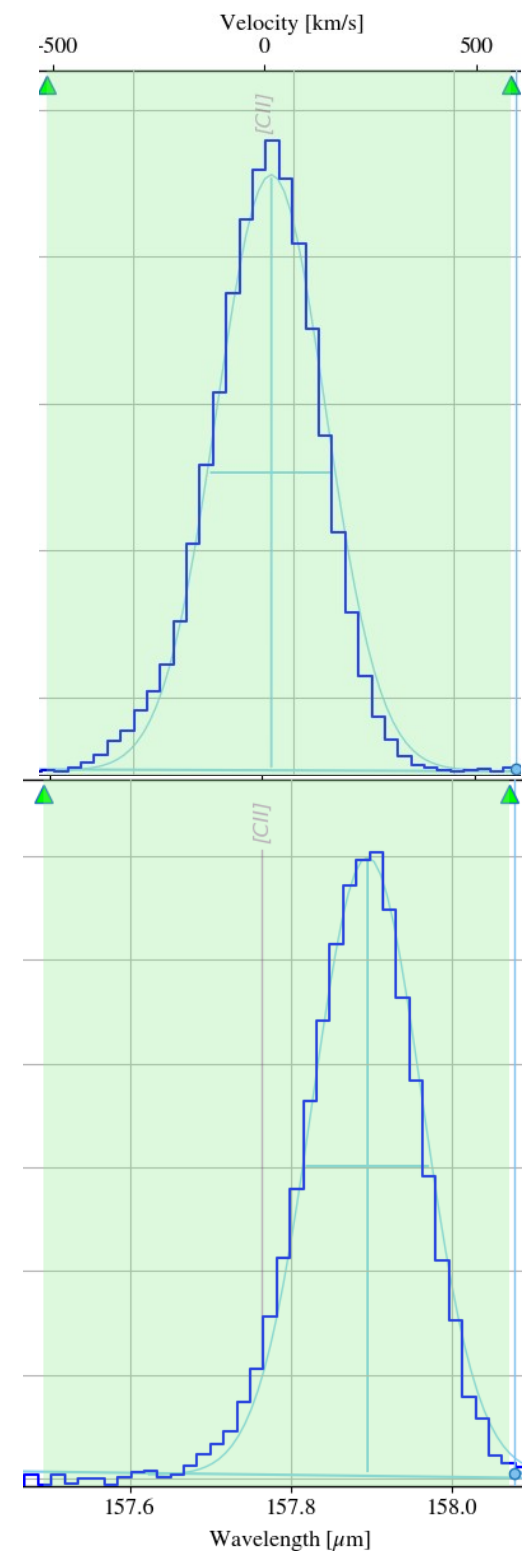
SOFIA / FIFI-LS

- ... macht das im fernen Infrarotlicht (kaltes Gas)
- ... mit einer Linie (Atom oder Molekül)
- ... mit guter Auflösung ($\lambda / \Delta\lambda \approx 800$)

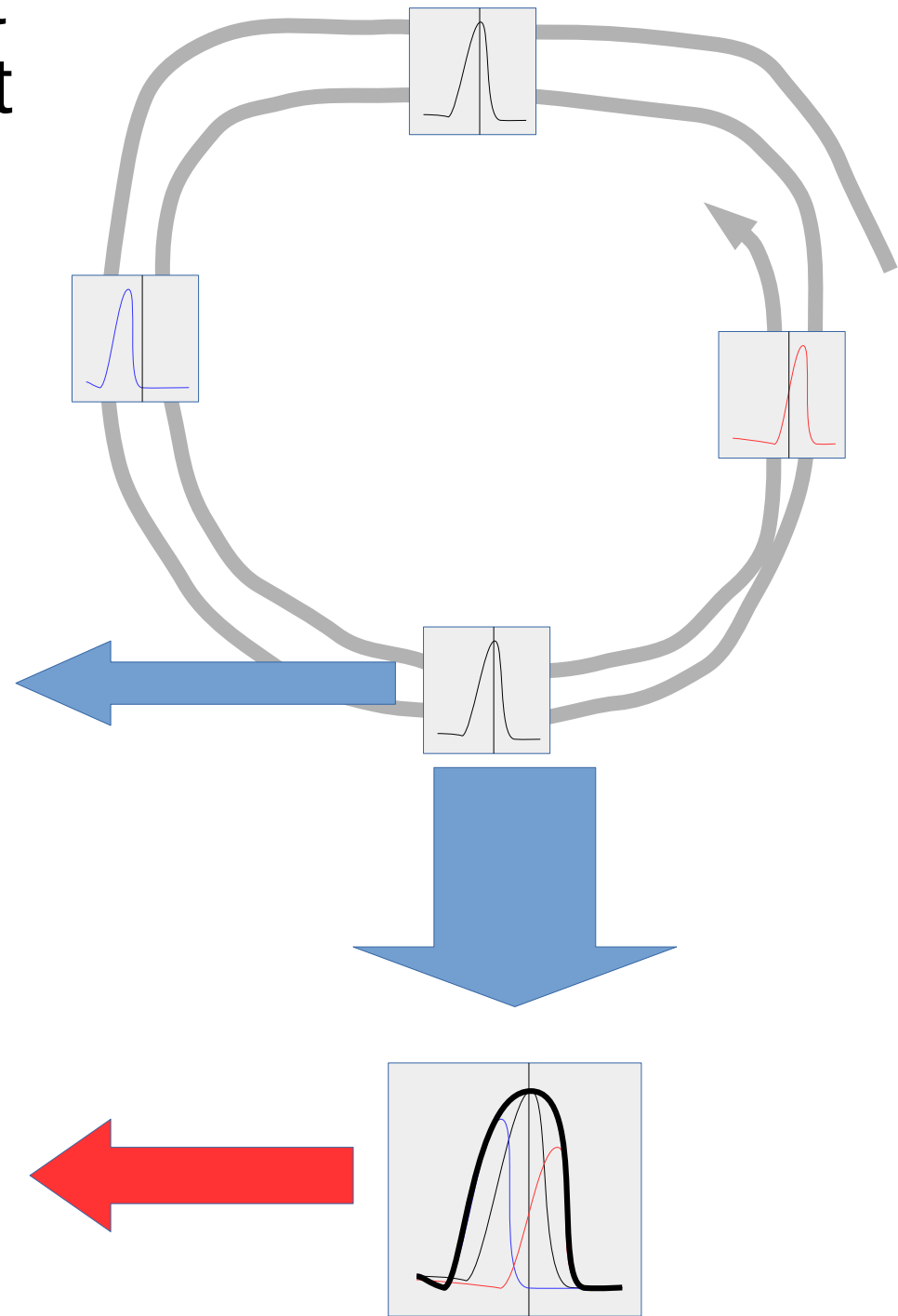
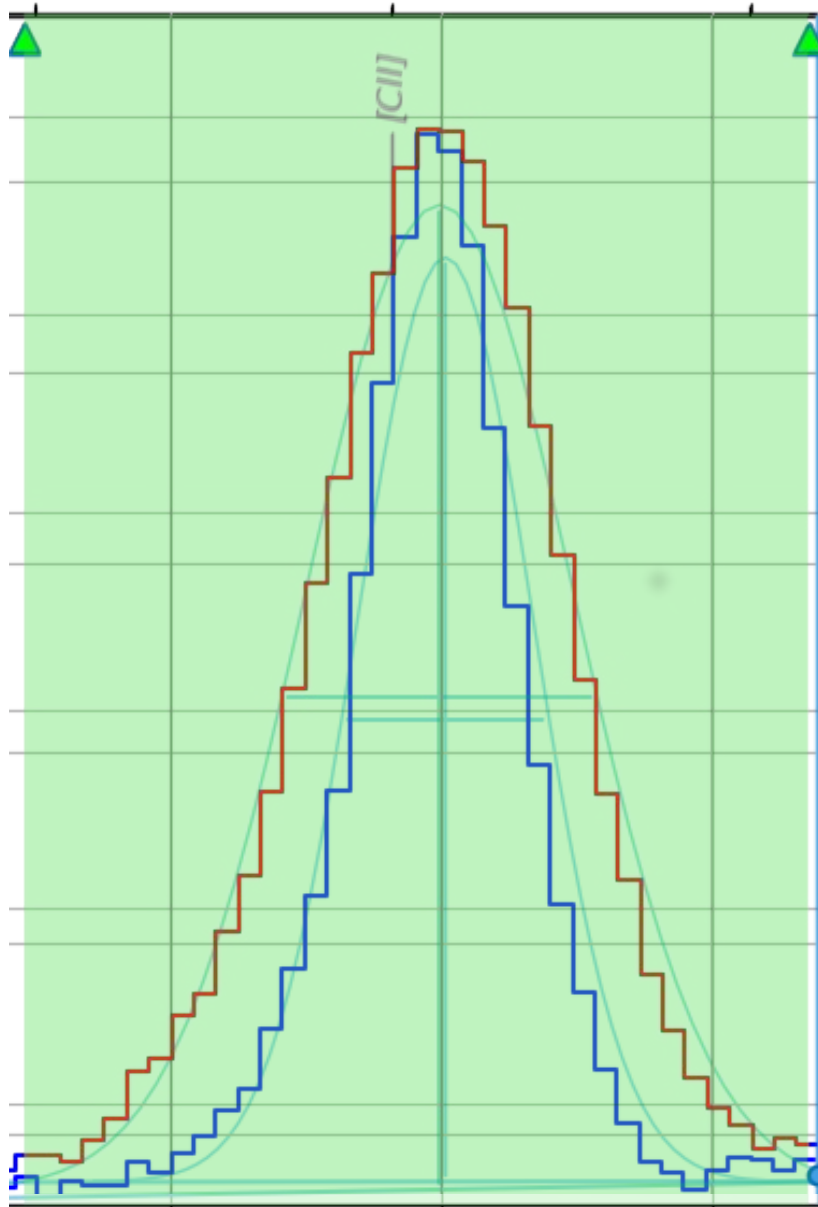


Was lernen wir über das Gas?

- Dopplereffekt:
bewegt sich das Gas
 - auf uns zu, ist die Emission blauverschoben (kürzere Wellenlänge),
 - Von uns weg, ist sie rotverschoben (größere Wellenlänge)

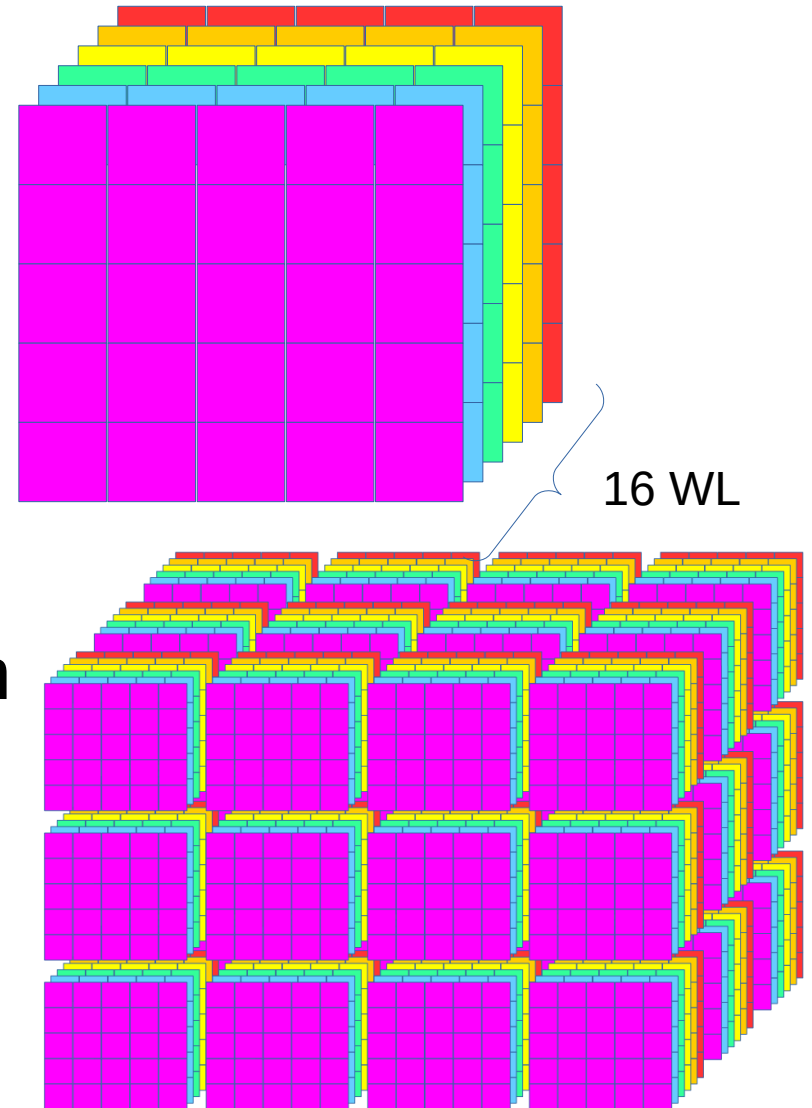


- Ist das Gas verwirbelt (Turbulenz), erscheint die Linie breiter



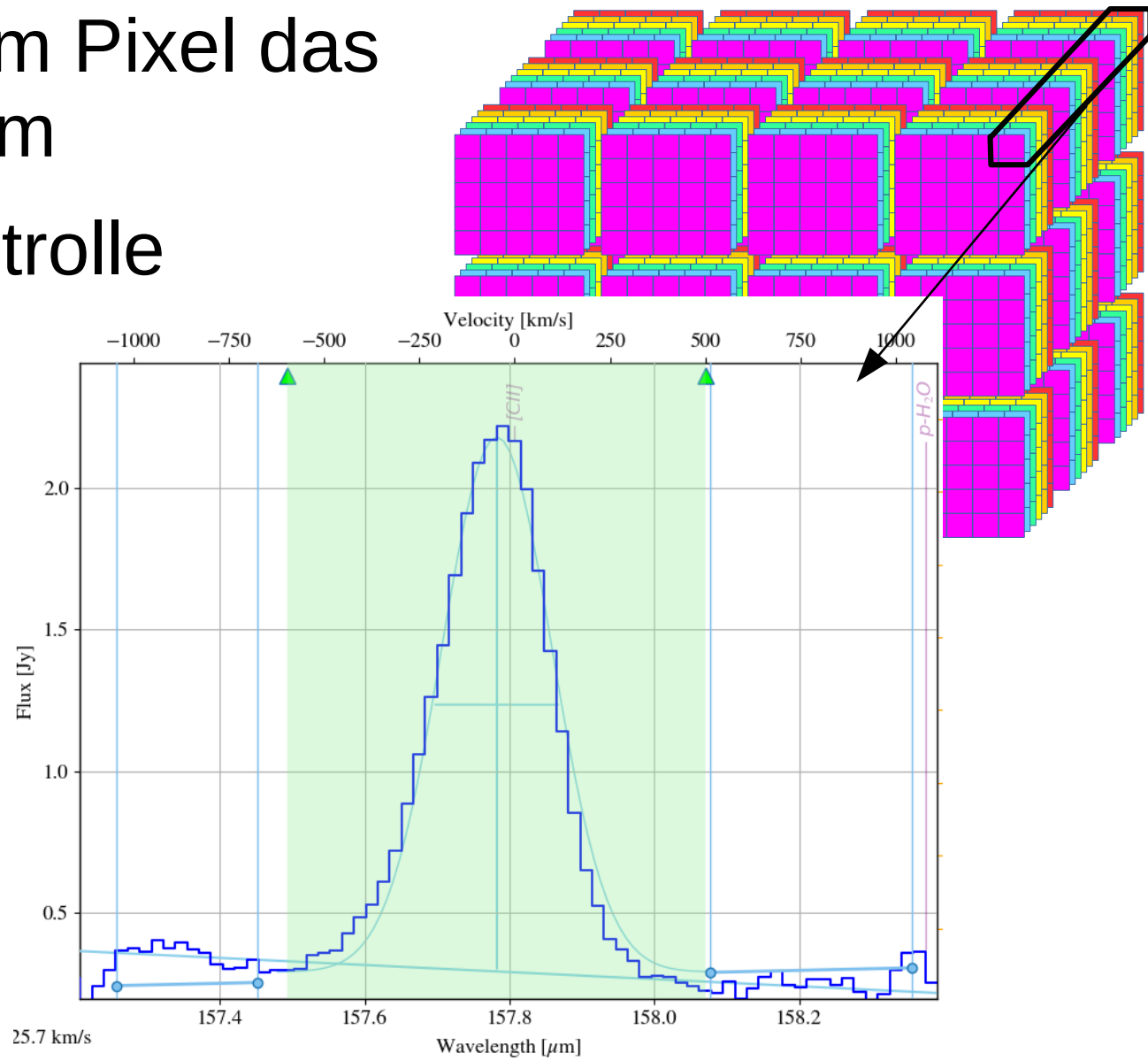
Wozu Imaging?

- Wir wollen die Information über das Gas gern räumlich aufgelöst, als Bild
- FIFI-LS liefert:
 - 2 Wellenlängenbereiche (roter bzw. blauer Kanal)
 - Mit jeweils 5 x 5 Pixel
 - Mit jeweils 16 Wellenlängen:
 - Beobachtung wird aus vielen Cubes zusammen gesetzt, die nacheinander aufgenommen werden:



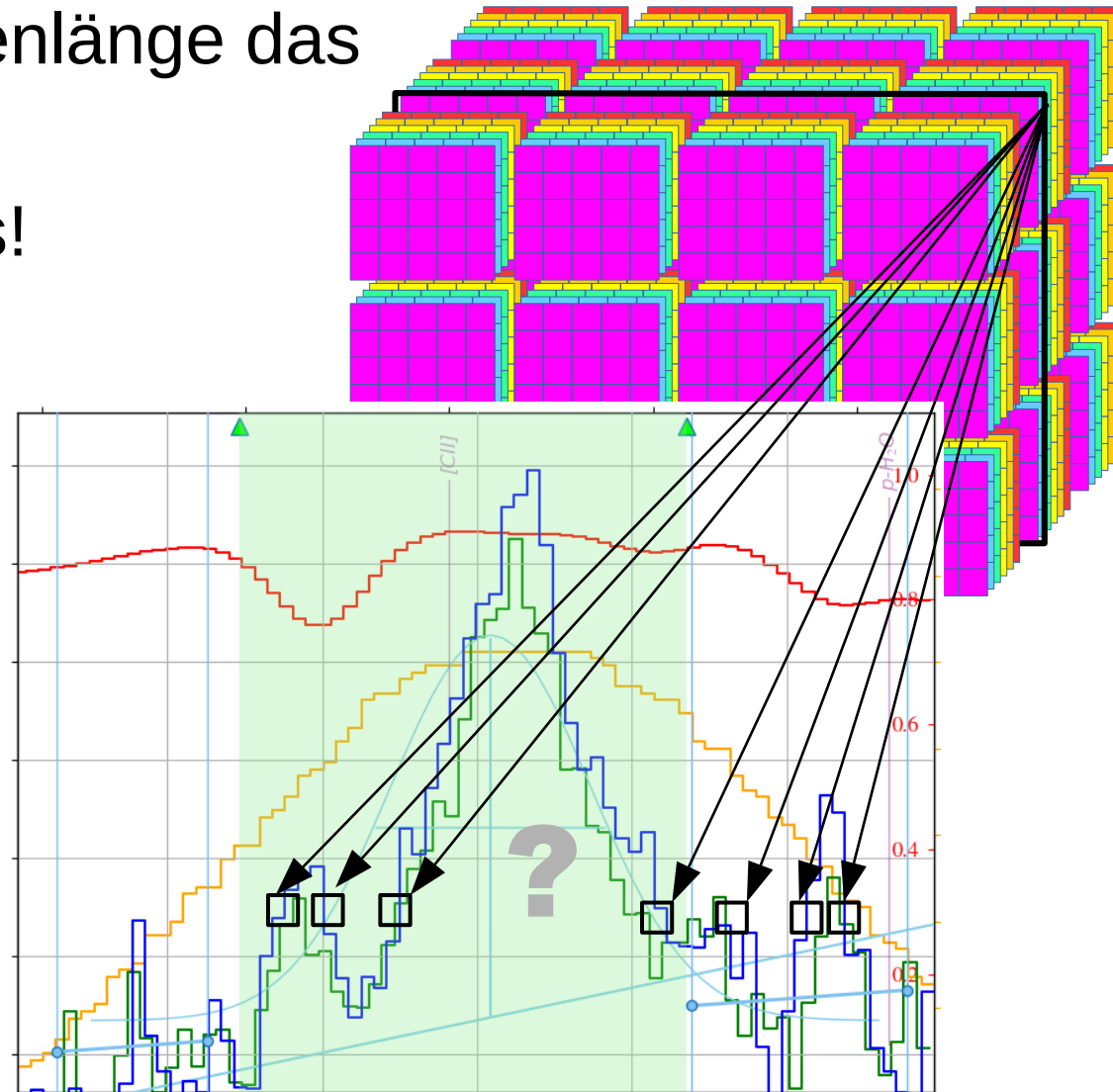
Visualisierung der Daten

- An einem Pixel das Spektrum
- Zur Kontrolle



Visualisierung der Daten

- Bei einer Wellenlänge das Bild?
- ... bringt nichts!
- Wir brauchen Eigenschaften der Linie als Bild
 - Intensität
 - Lage
 - Breite



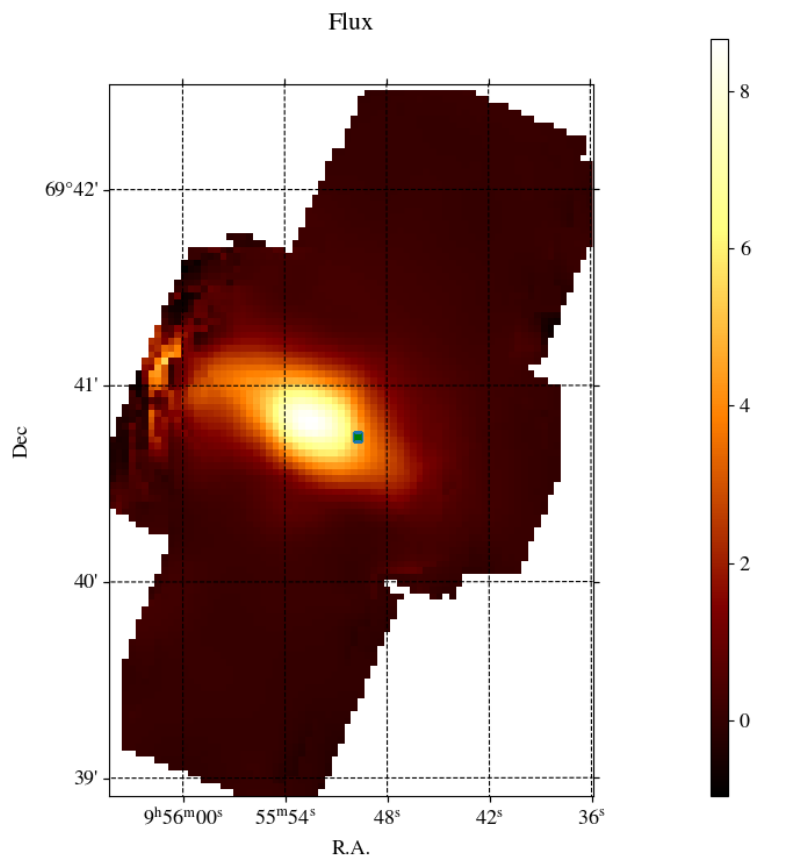
Auswertungstool: SOSPEX

- Ziel: Linieneigenschaften
- Weg:
 - Untergrund und Linie definieren
 - Untergrund anpassen
 - Linie anpassen
 - Darstellung optimieren

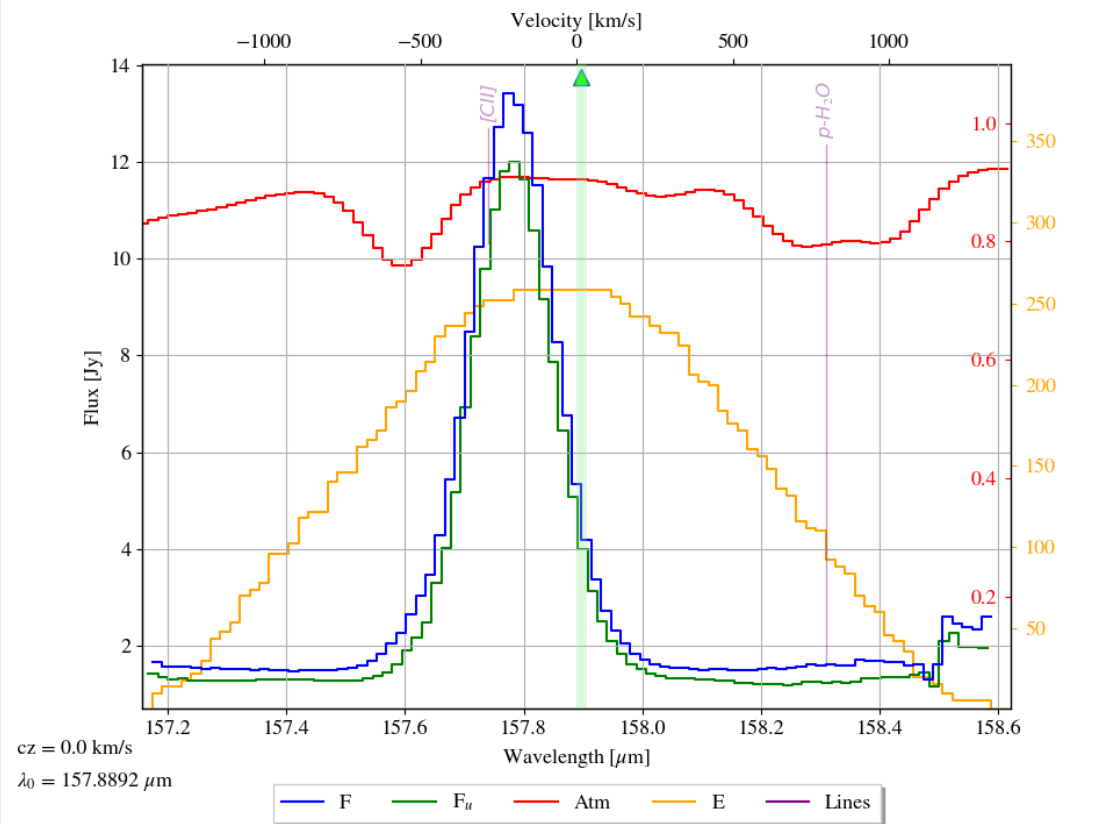
M82 – Datensatz in SOSPEX geladen

File View Tools Help

F F_u E



All Pix



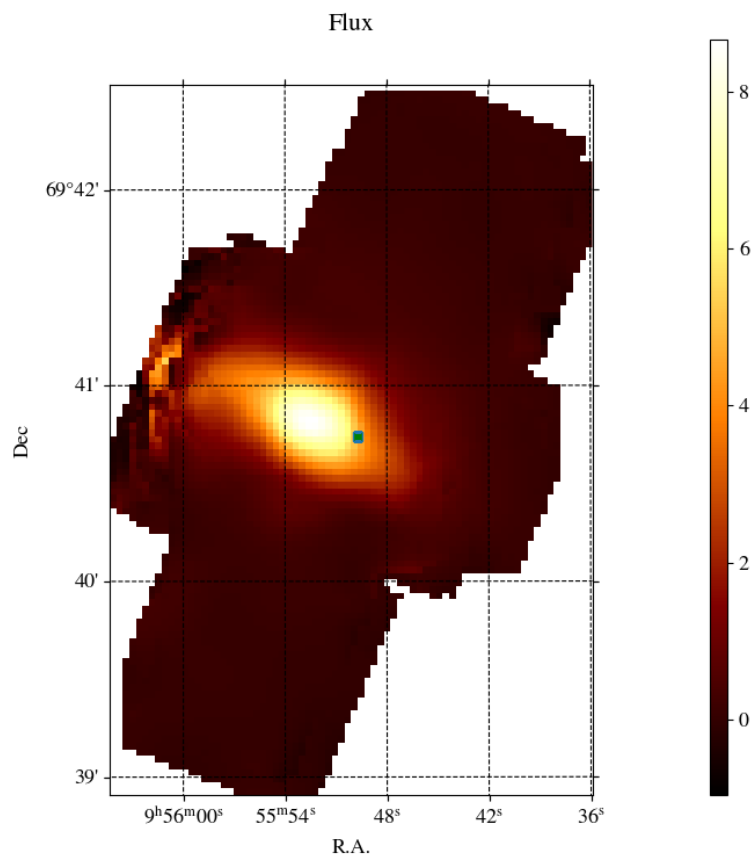
File View Tools Help

File View Tools Help

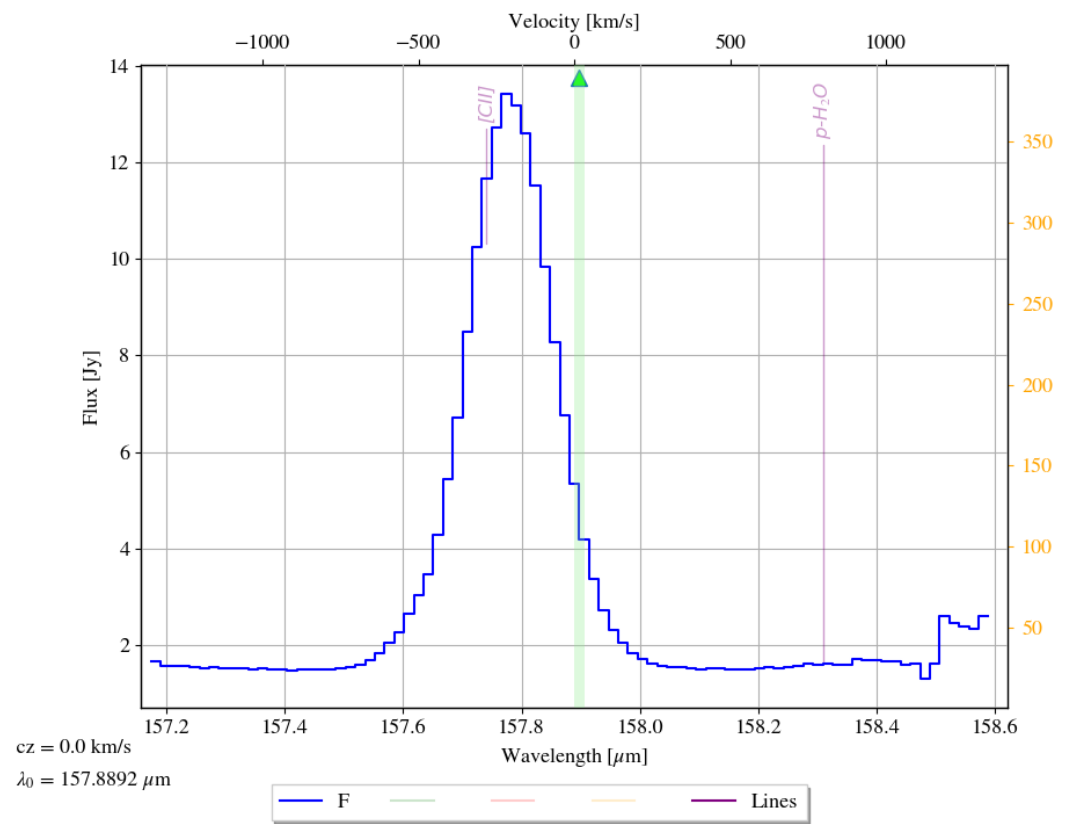
Spektrum vereinfacht

File View Tools Help

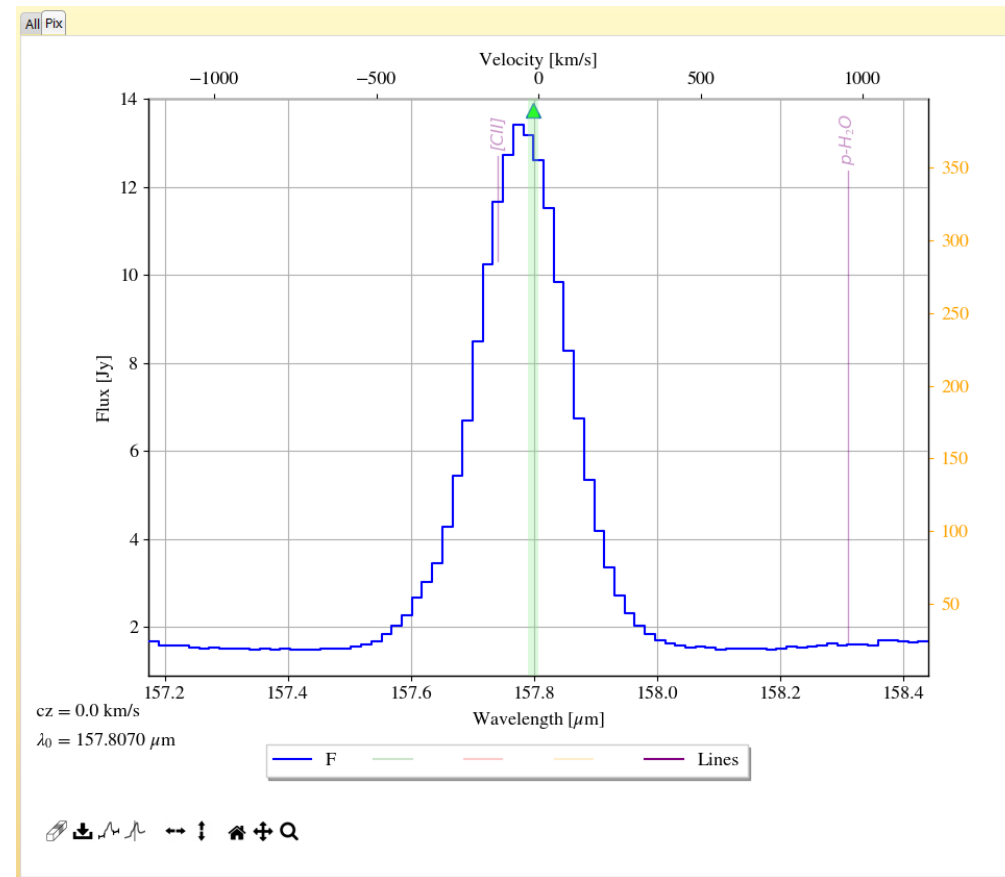
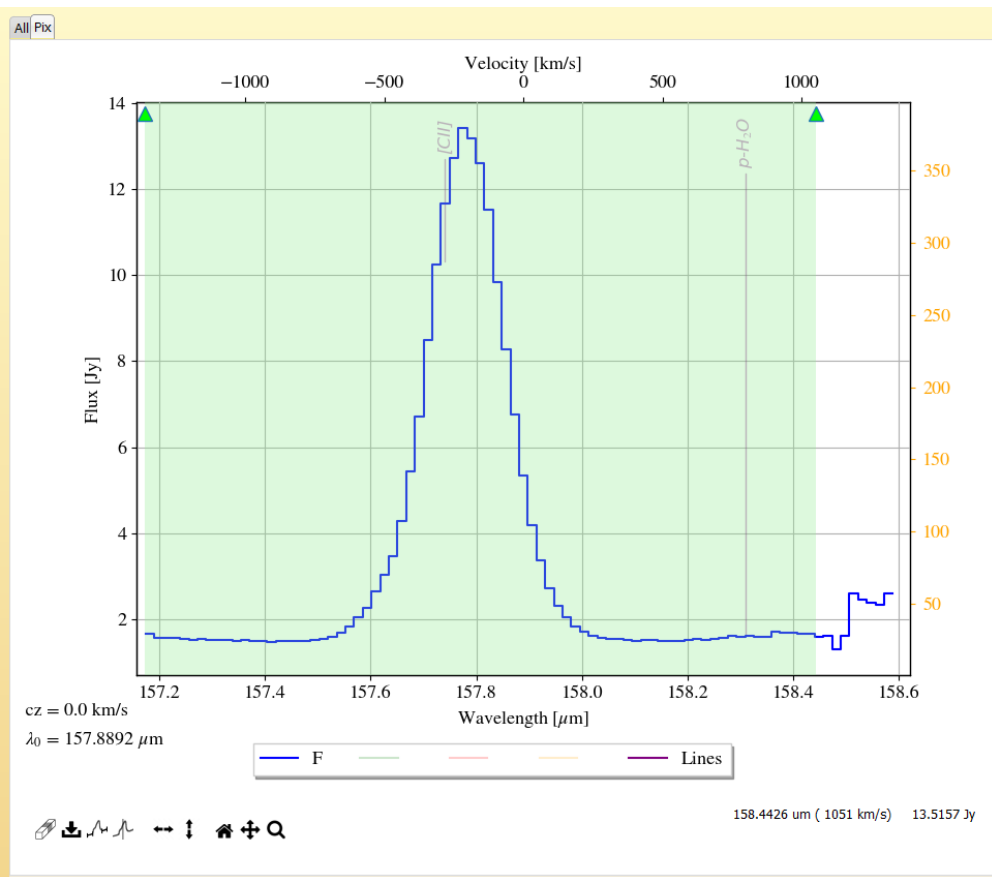
F Fv E



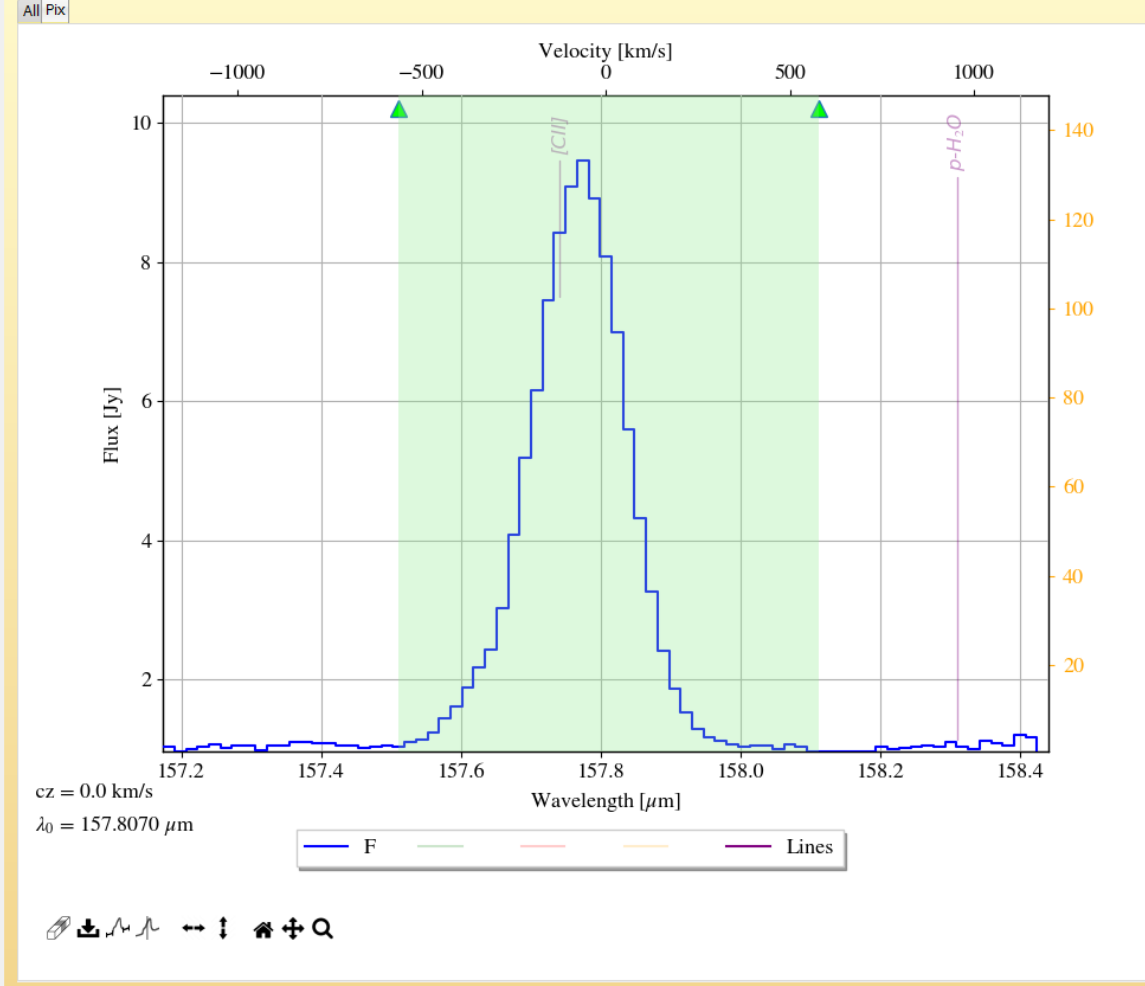
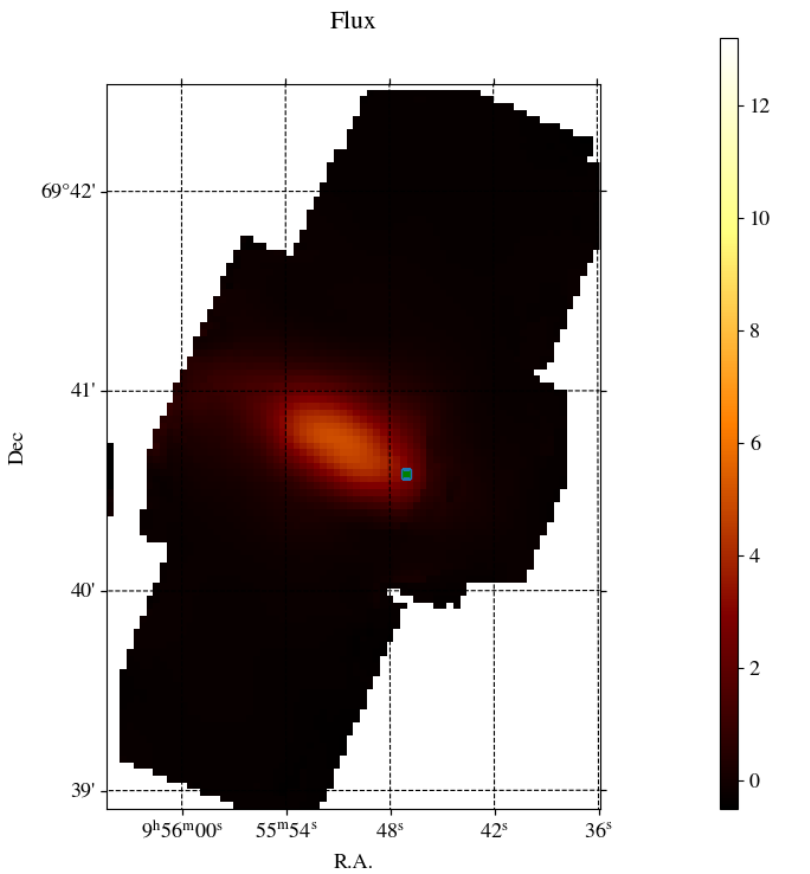
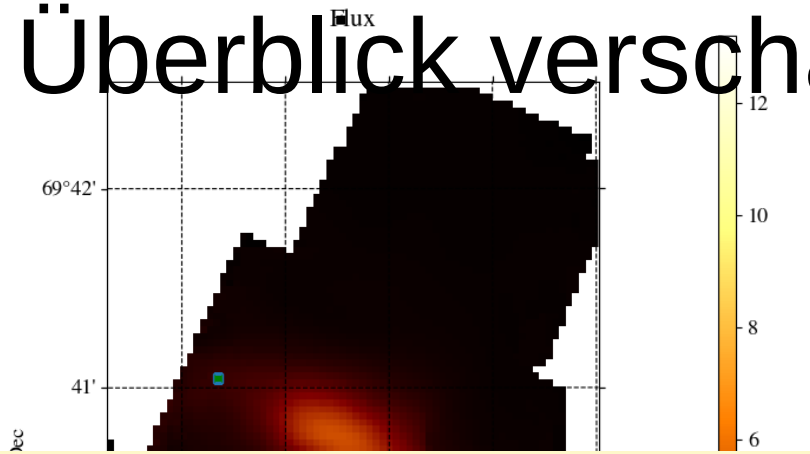
All Pix



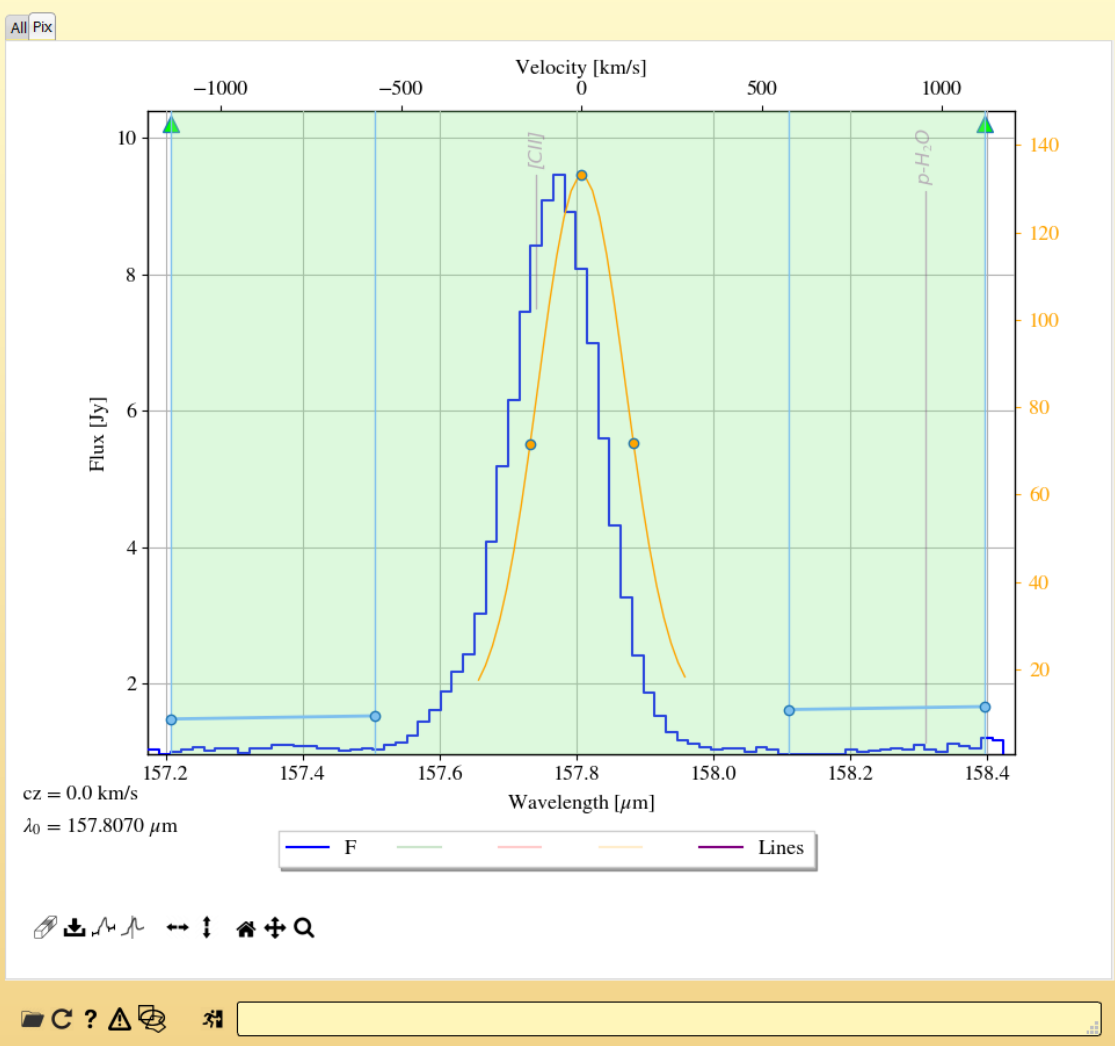
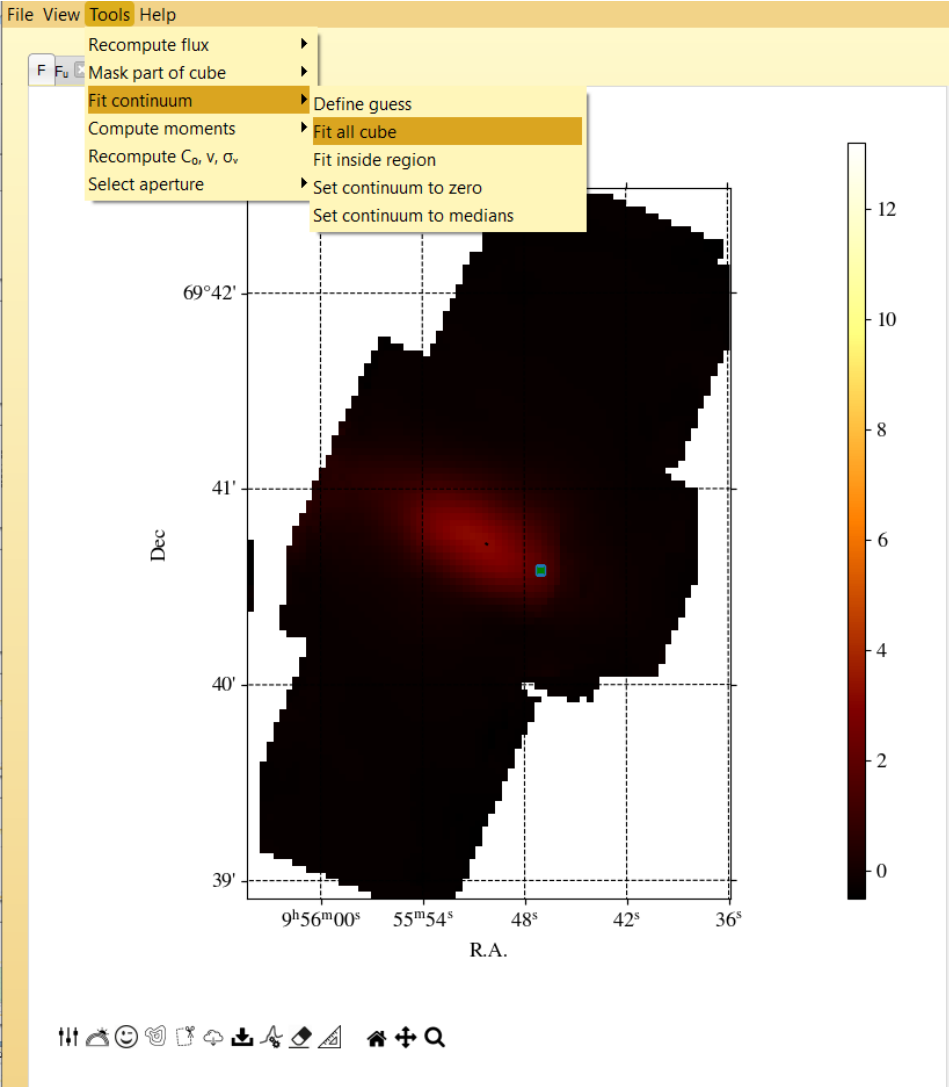
Ränder abschneiden



Überblick verschaffen: wo ist die Linie?



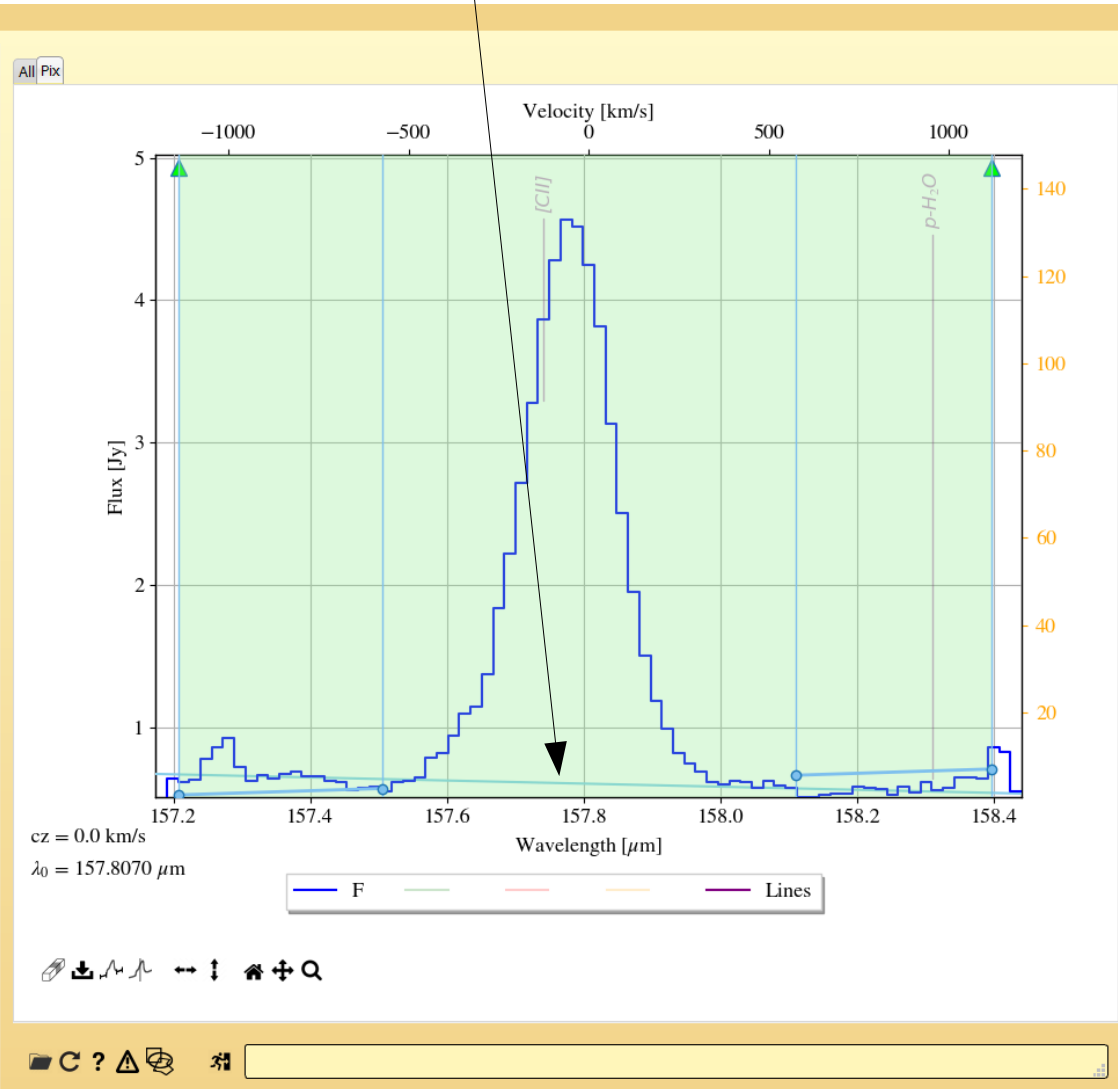
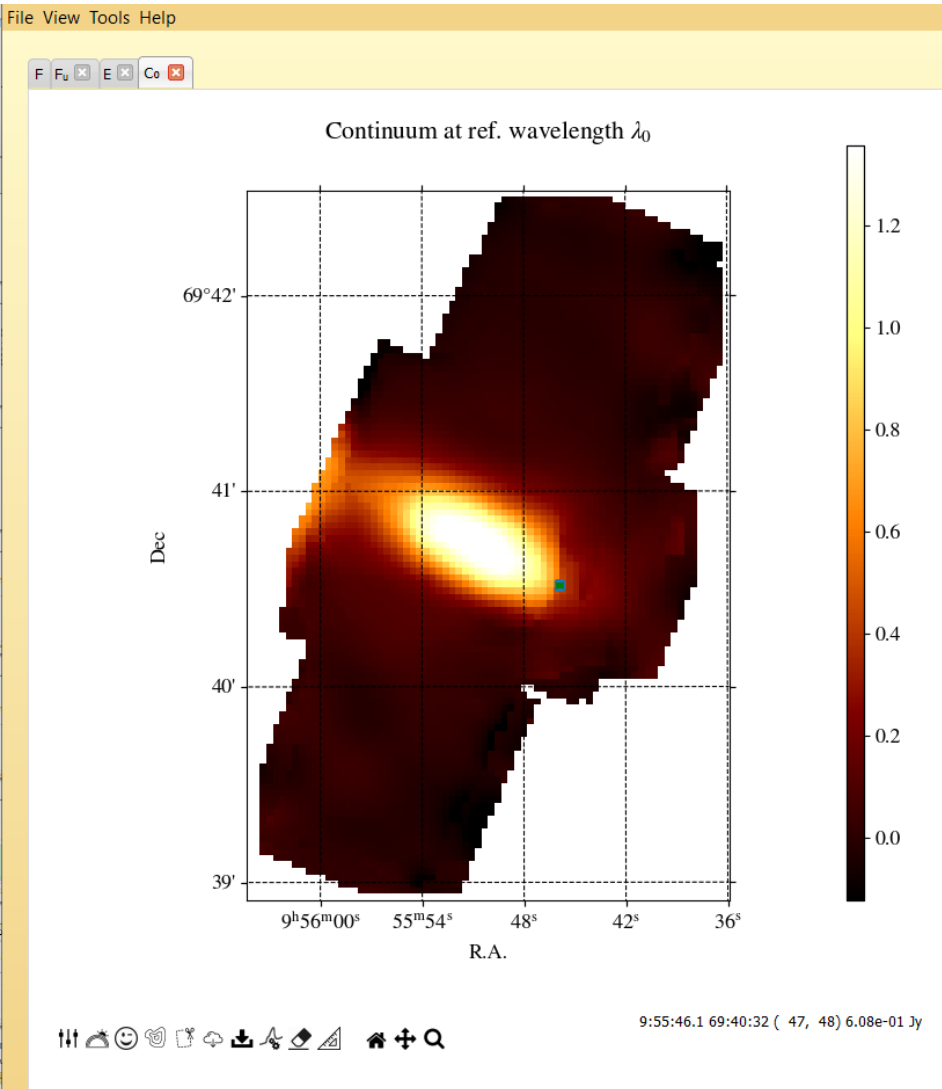
Untergrund eingrenzen und anpassen



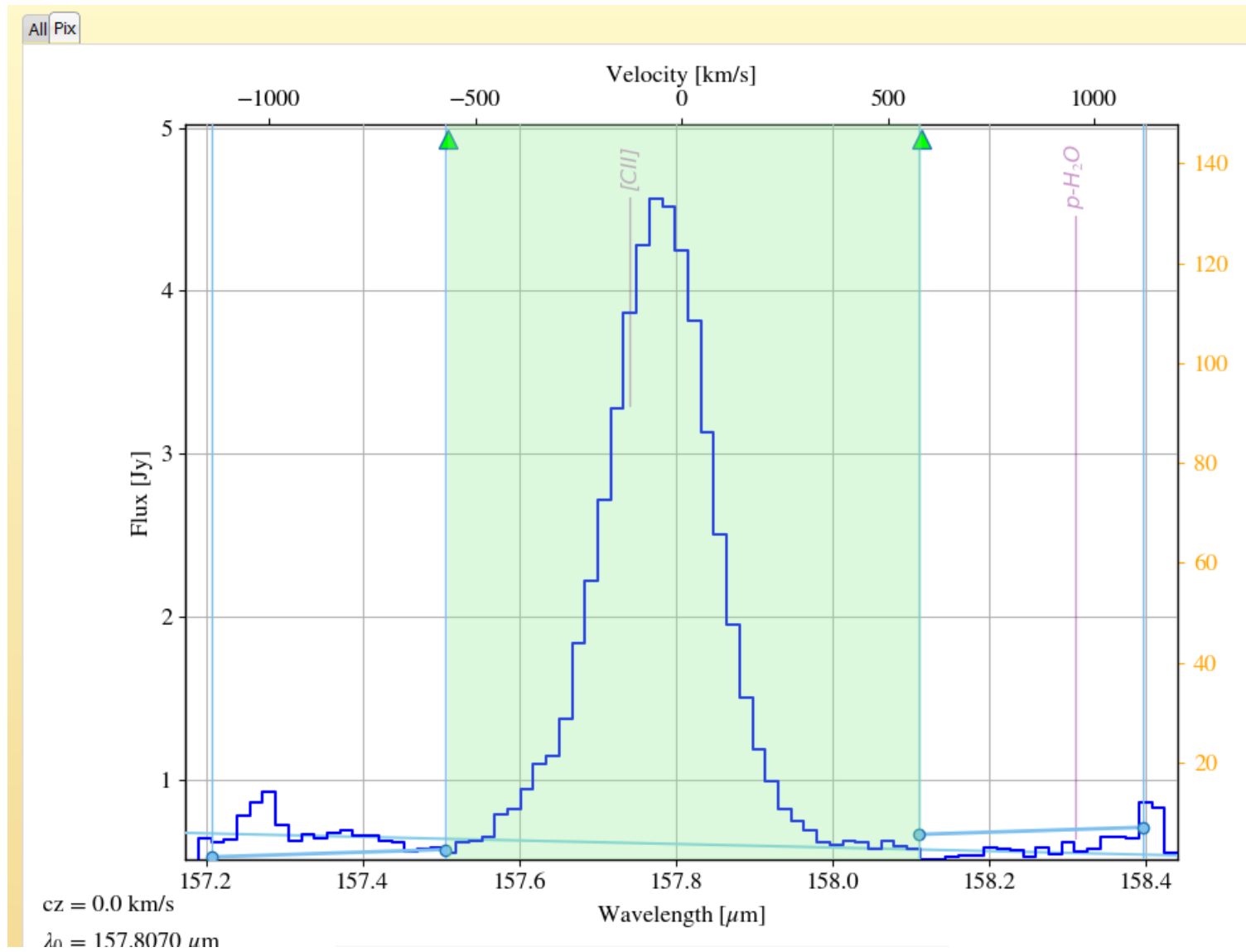
Ein erstes Bild!

Untergrund (Staub-Kontinuum)

Zur Kontrolle im Spektrum



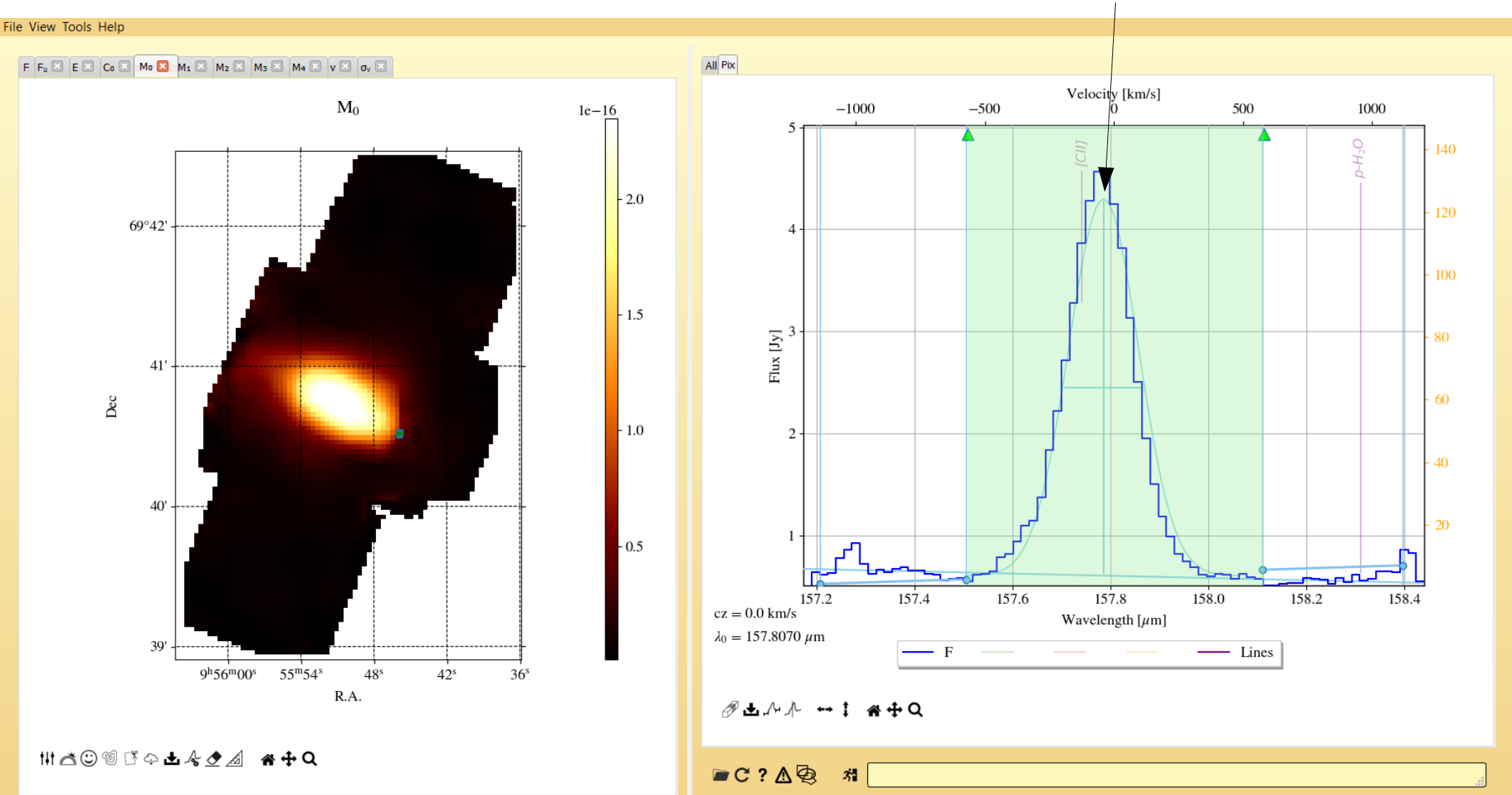
Bereich für Linie definieren



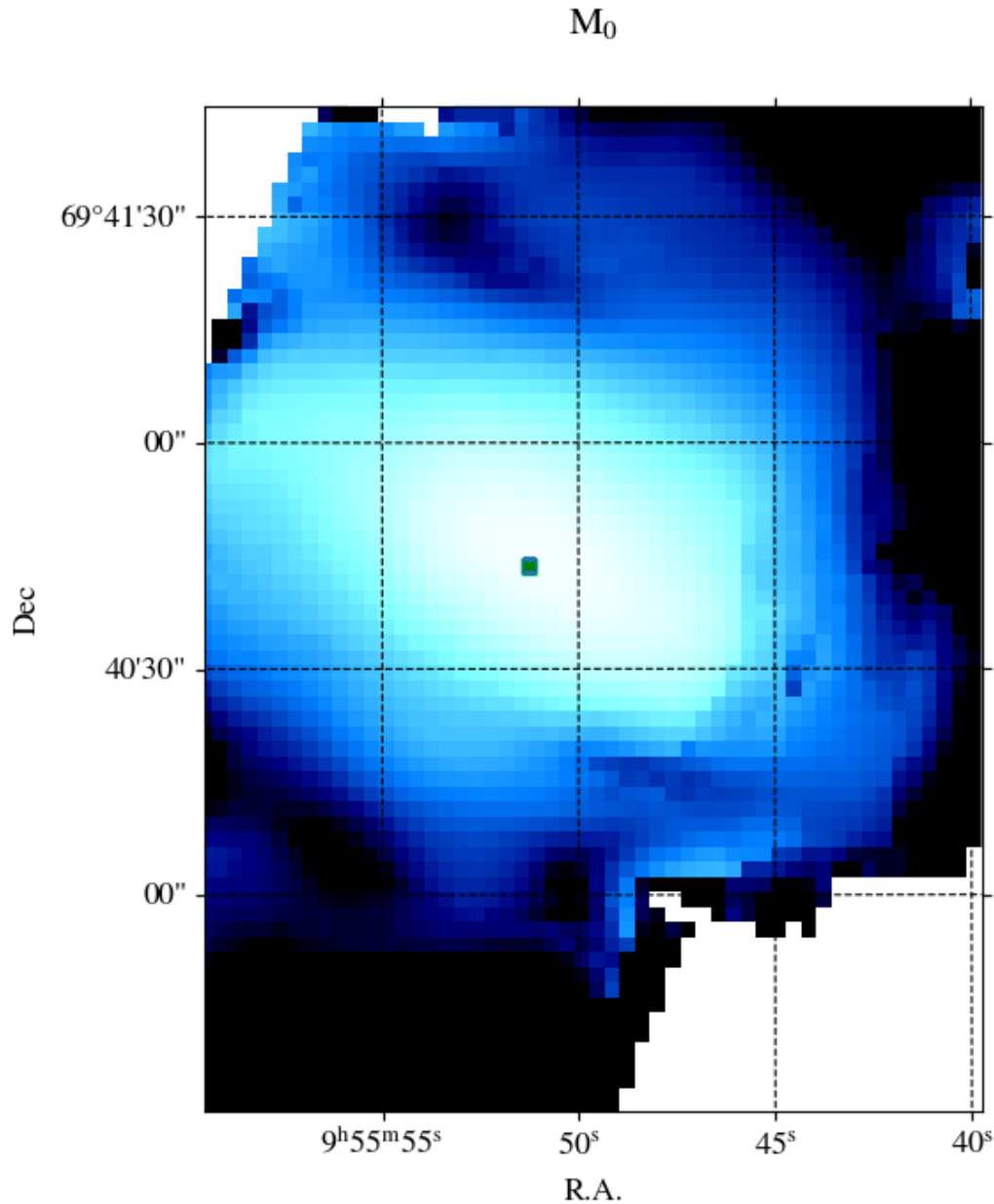
Linie anpassen: 7 neue Bilder

Linienintensität...

... zur Kontrolle



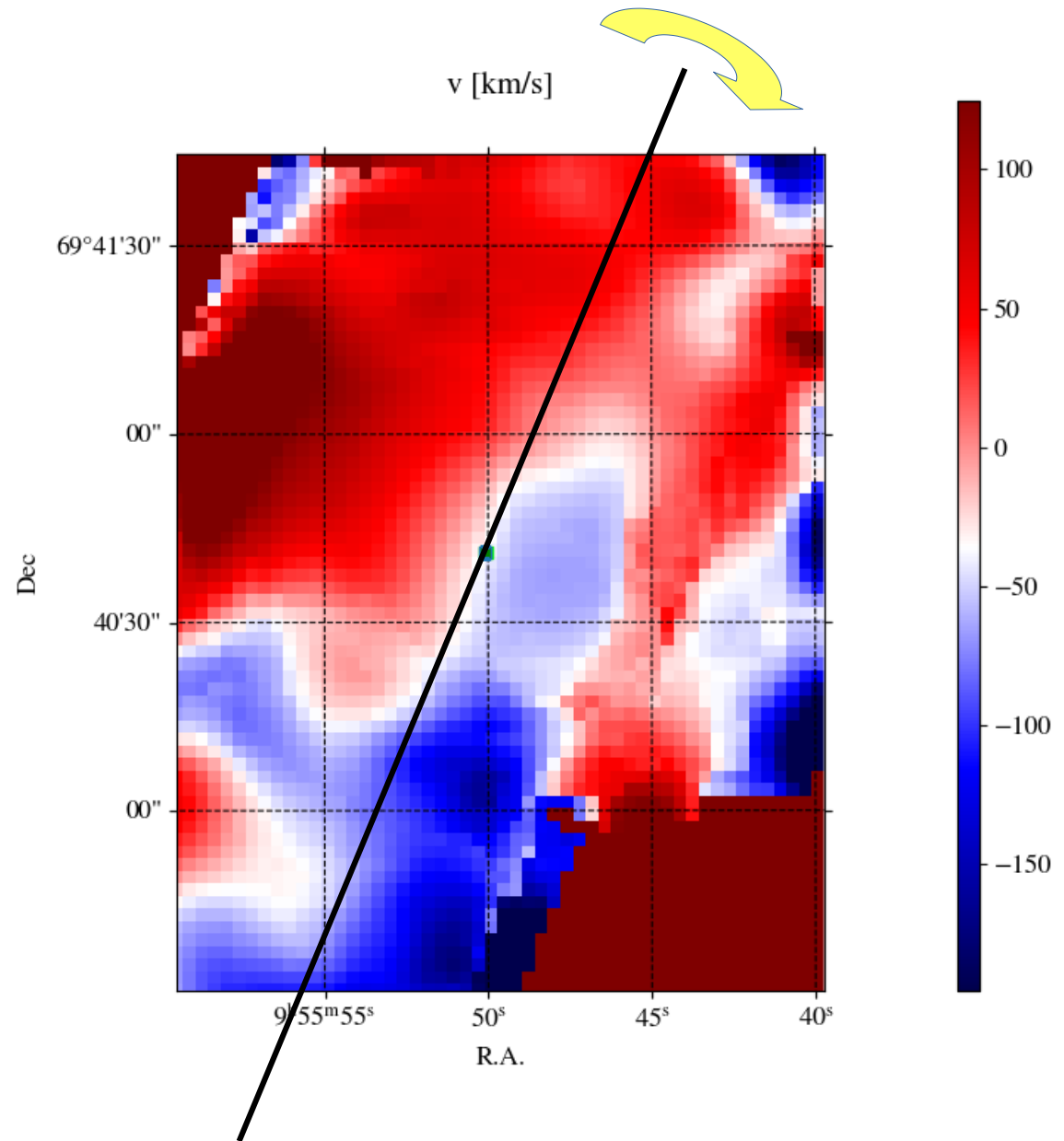
Darstellung optimieren



- Linienintensität:
 - Zoom
 - Farbkodierung
 - Hier log Darstellung

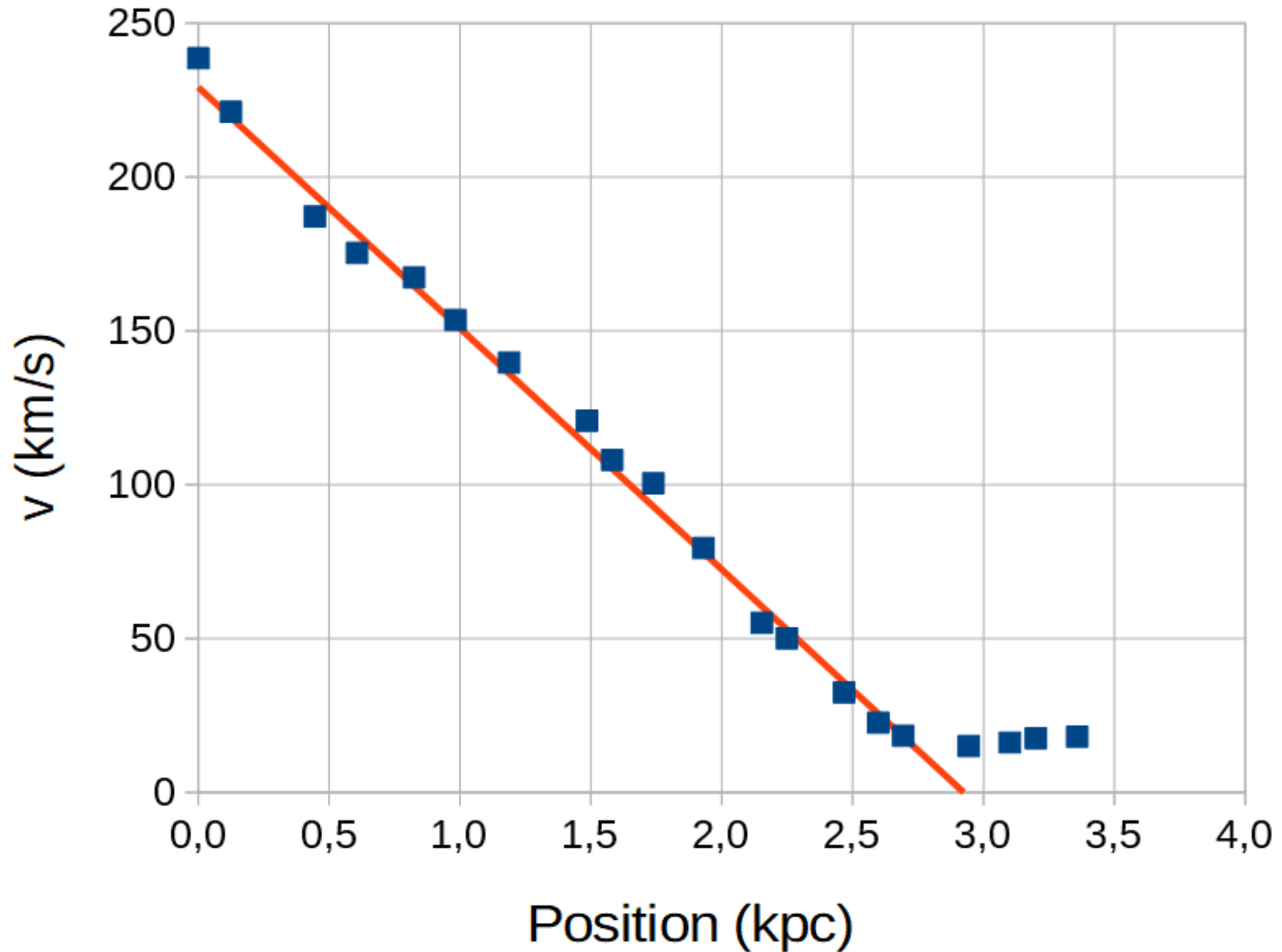
Interpretieren...

- Linienposition \rightarrow z-Geschwindigkeit
- Interpretation: das Gas rotiert (blau: auf uns zu)



Für Spezialisten: Rotationskurve

Rotationskurve M82

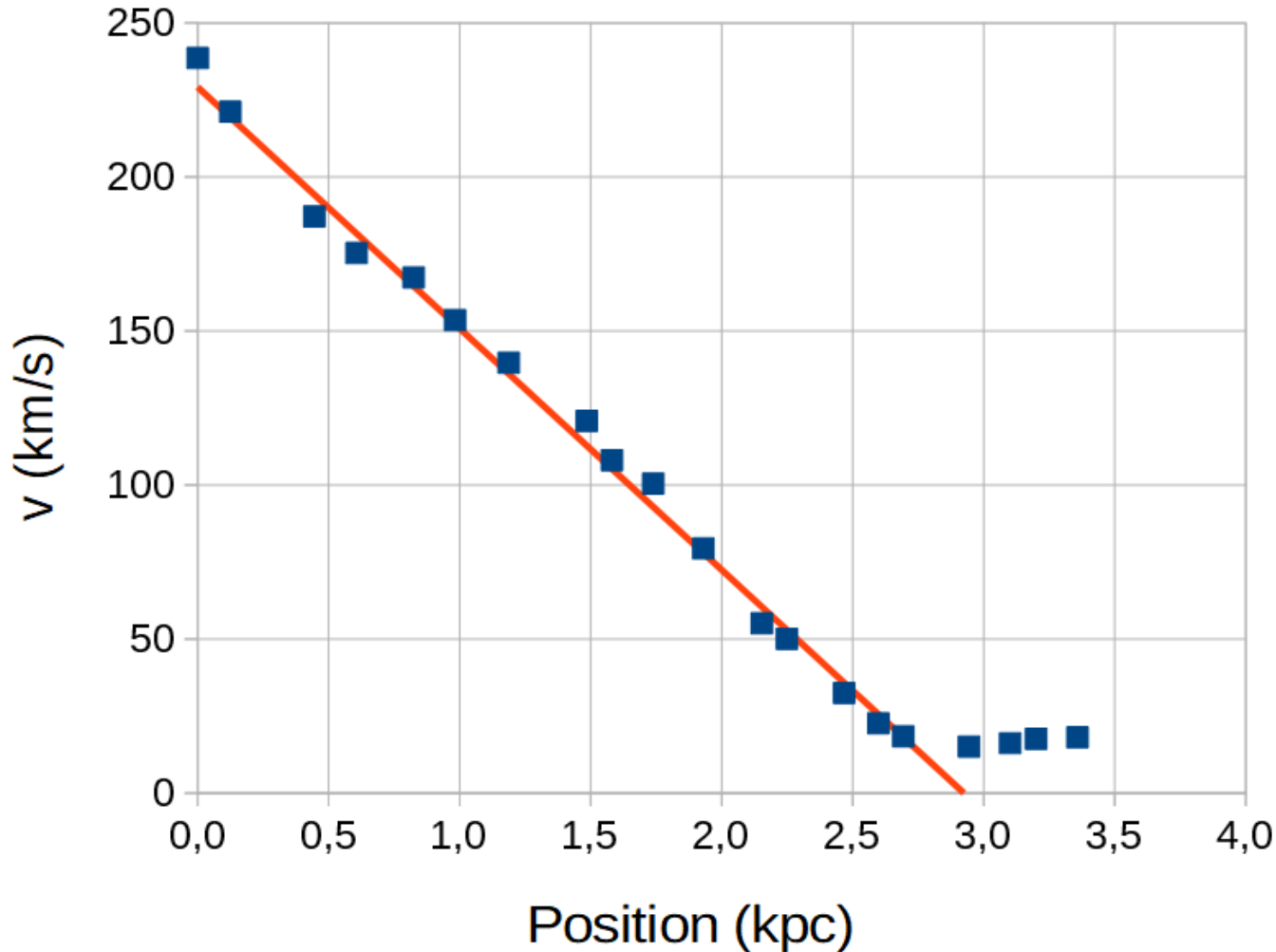


Modell: Karussell



Erlaubt Bestimmung der Dichte

Rotationskurve M82



- Starre Rotation
- Materiedichte ca. $0,34 M_{\odot}/\text{pc}^3$

Herleitung

- Gravitationsgesetz

$$F_G = G \frac{M m}{r^2}$$

- Zentripetalkraft

$$F_Z = m \frac{v^2}{r}$$

- Gleichsetzen

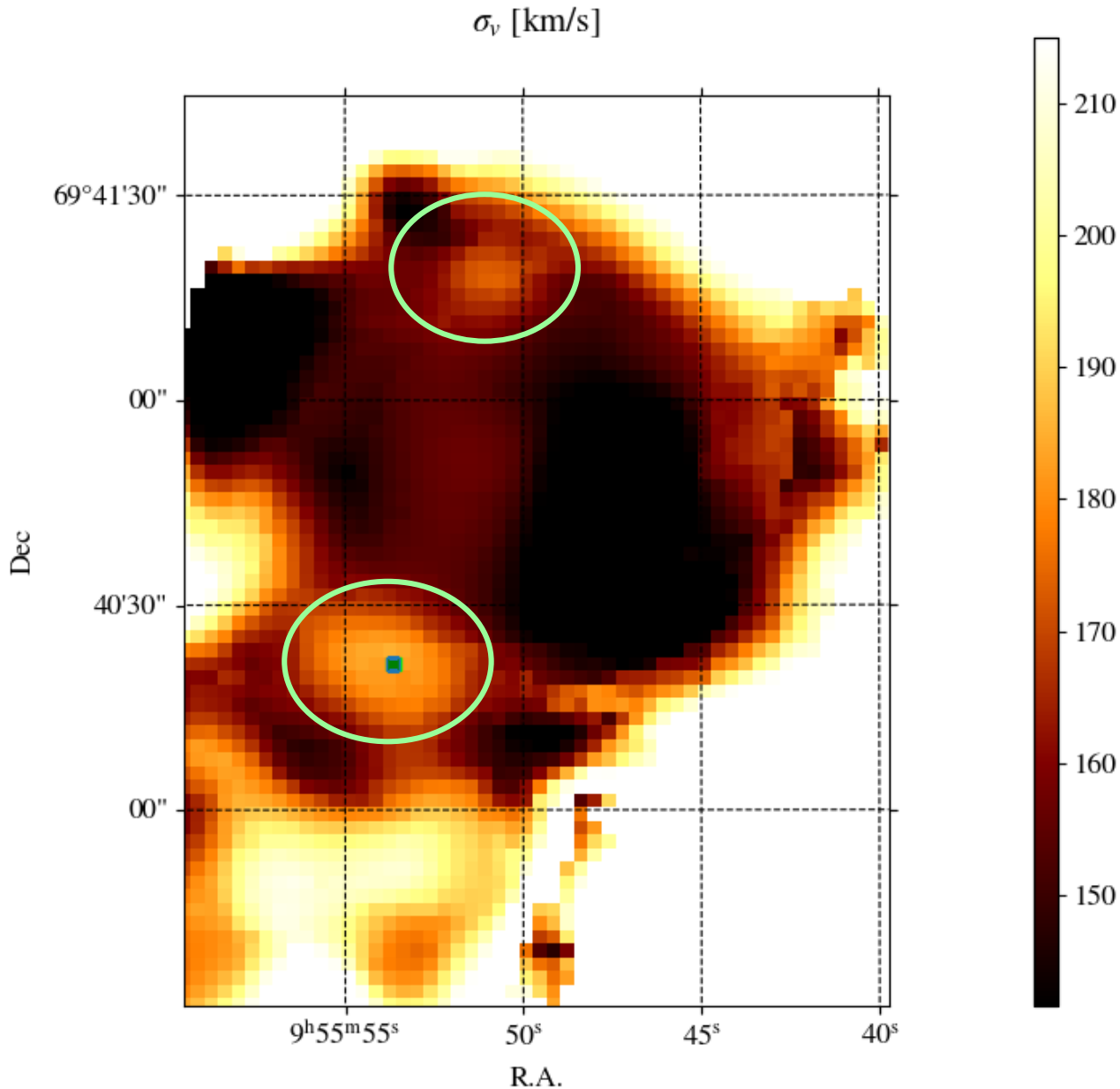
$$G M = v^2 r$$

- $v = s r$ (starre Rotation)

$$\rho = \frac{M}{4/3 \pi r^3} = \frac{3 s^2}{4 \pi G}$$

$$G = 4,3 \cdot 10^{-6} \frac{\left(\frac{\text{km}}{\text{s}}\right)^2 \text{kpc}}{M_\odot}$$

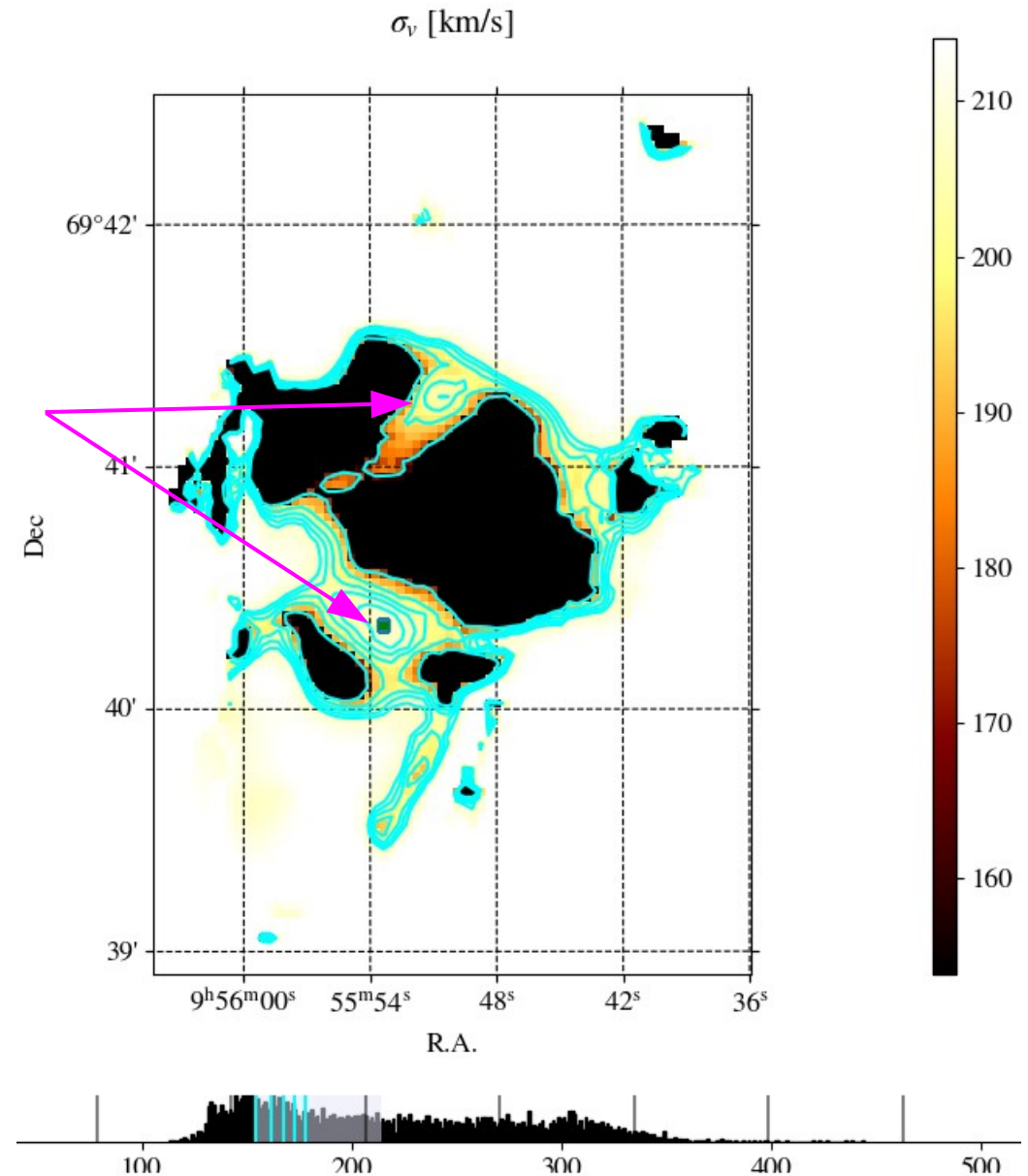
Linienbreite: Turbulenz



- Zwei Turbulenzbereiche außerhalb der Hauptebene
- Gasstrom der Sternentstehungsgebiete

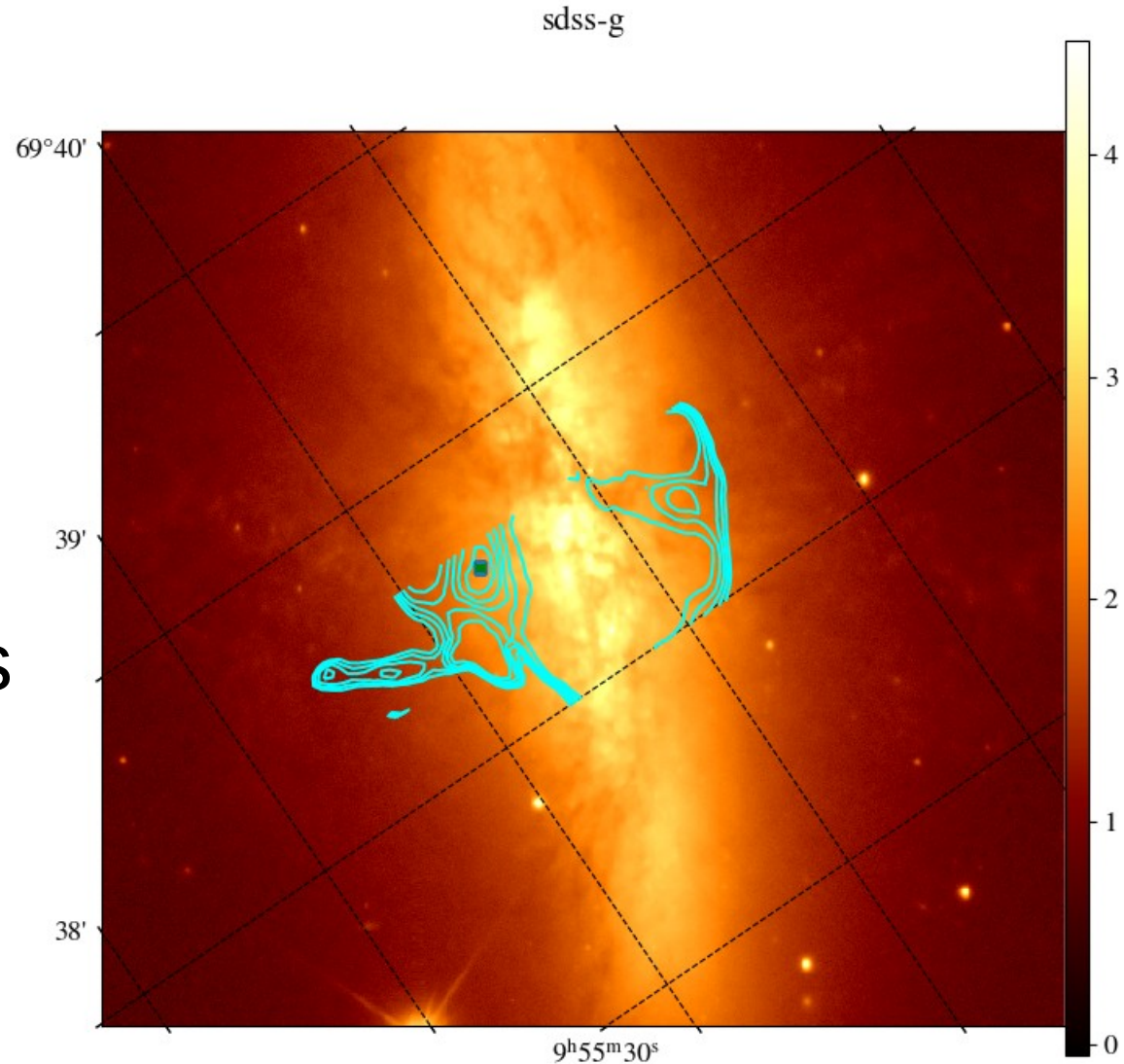
Konturen überlagern

- Konturniveaus lassen sich anpassen
- → interessierende Bereiche hervorheben

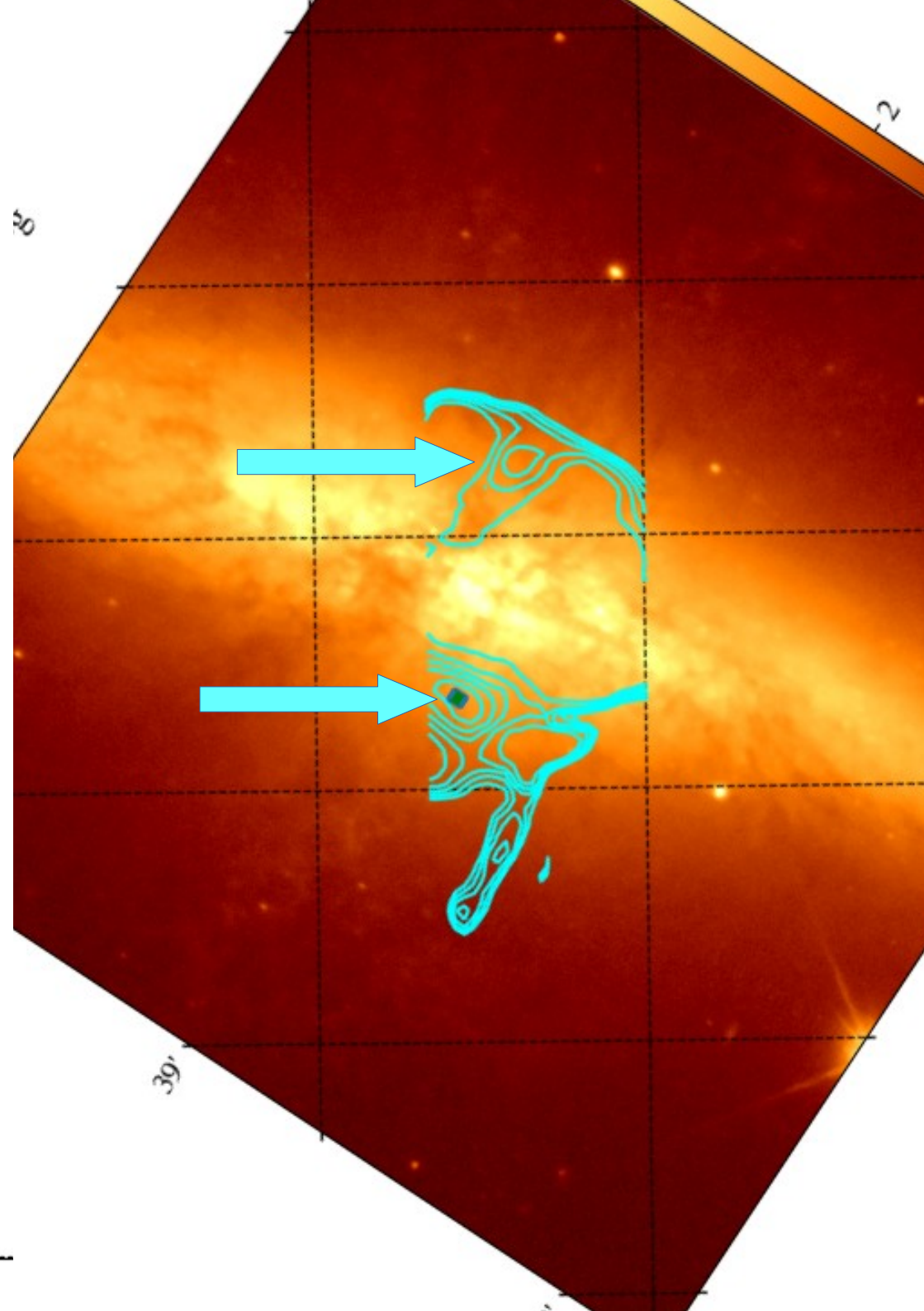
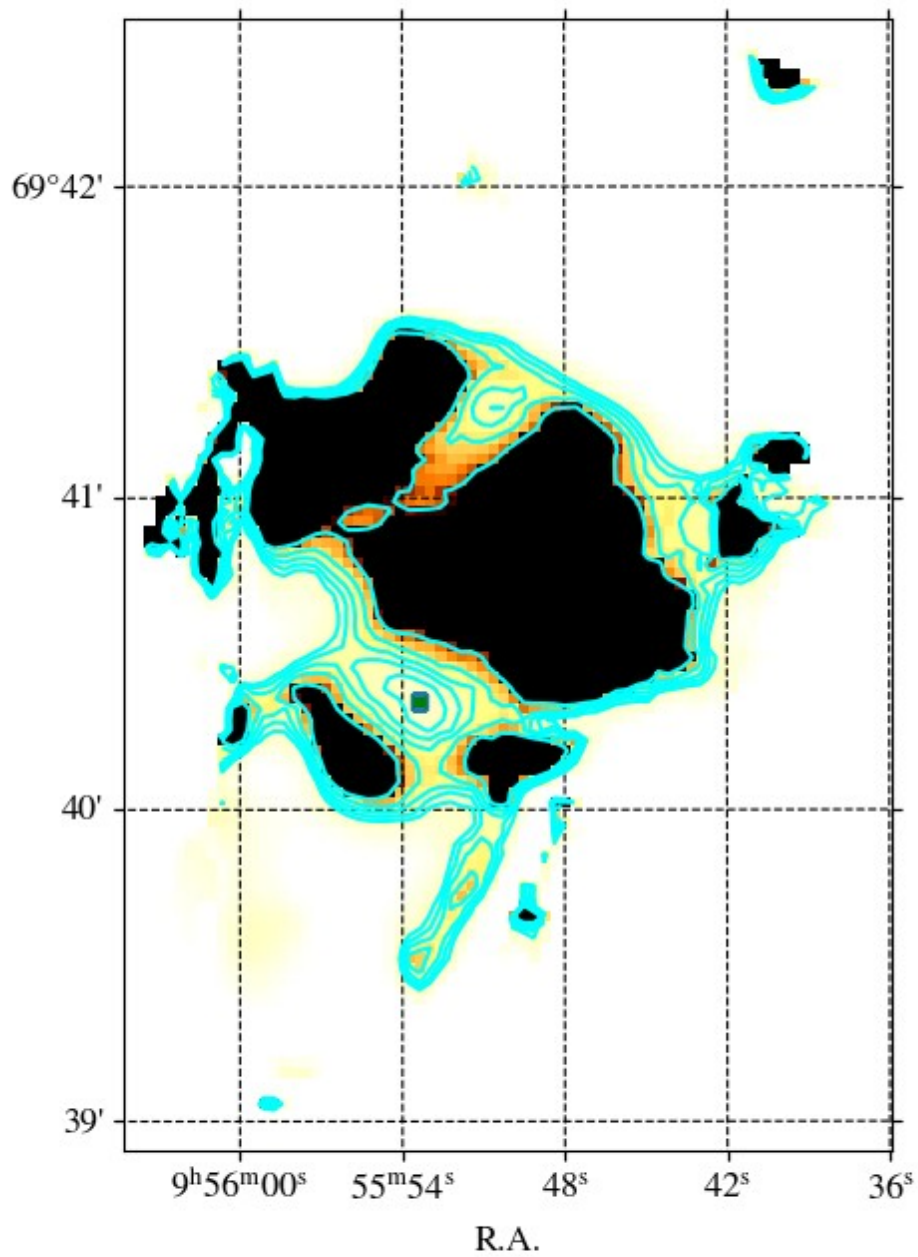


Vergleich mit Bildern

- Bilder aus Durchmusterungen automatisch laden
- Konturen werden eingeblendet
- Hier: verifizieren, dass Turbulenz abseits der Hauptebene auftritt



σ_v [km/s]

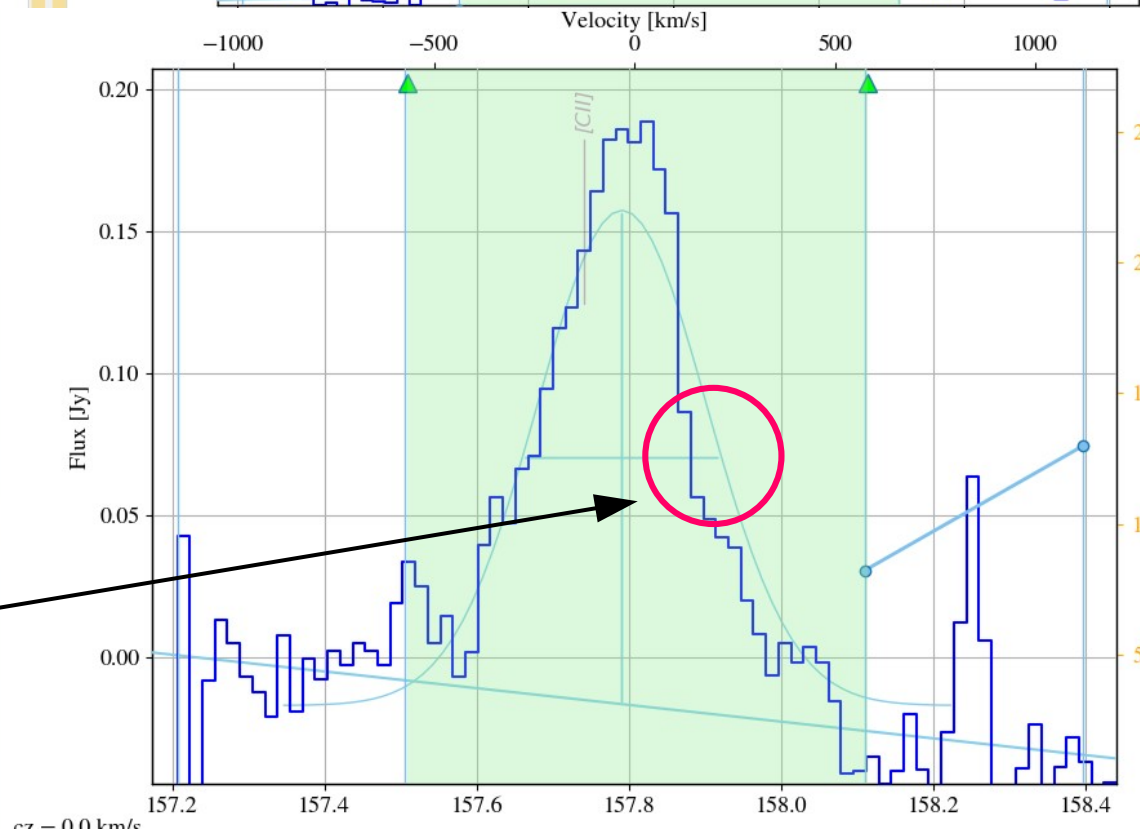
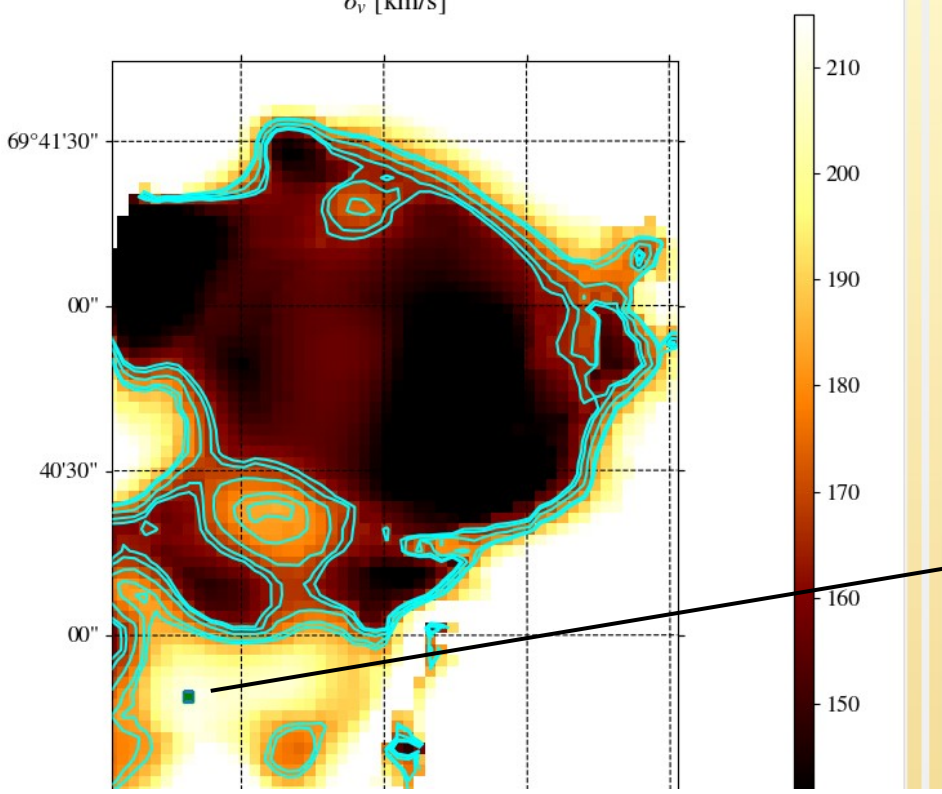
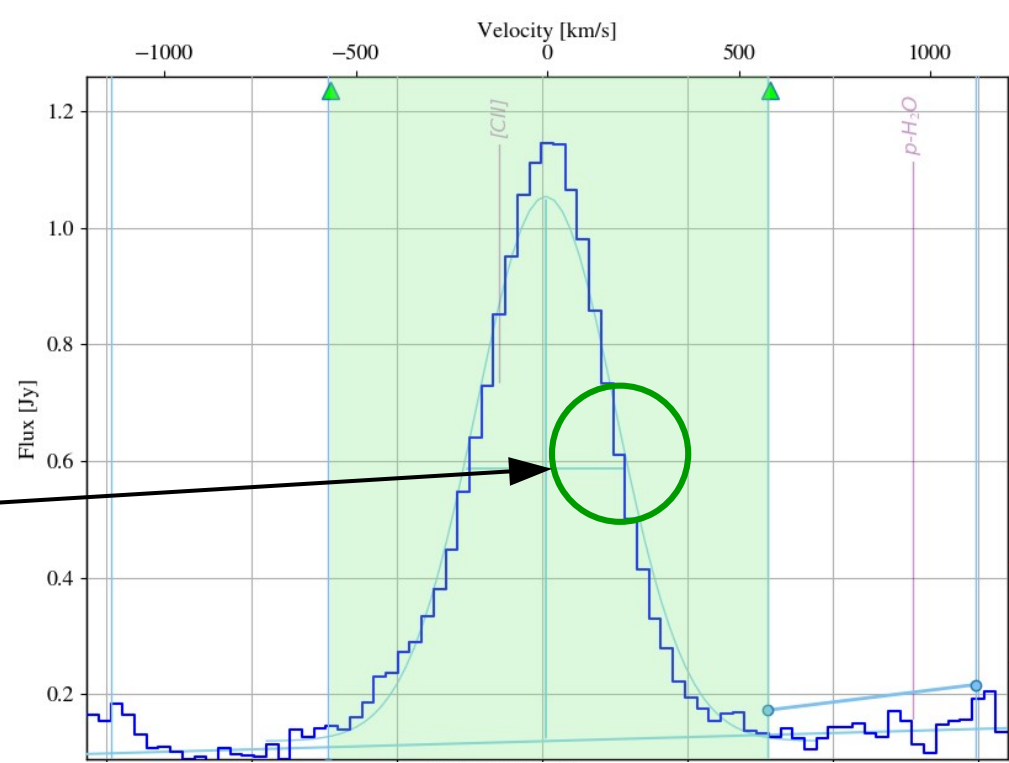
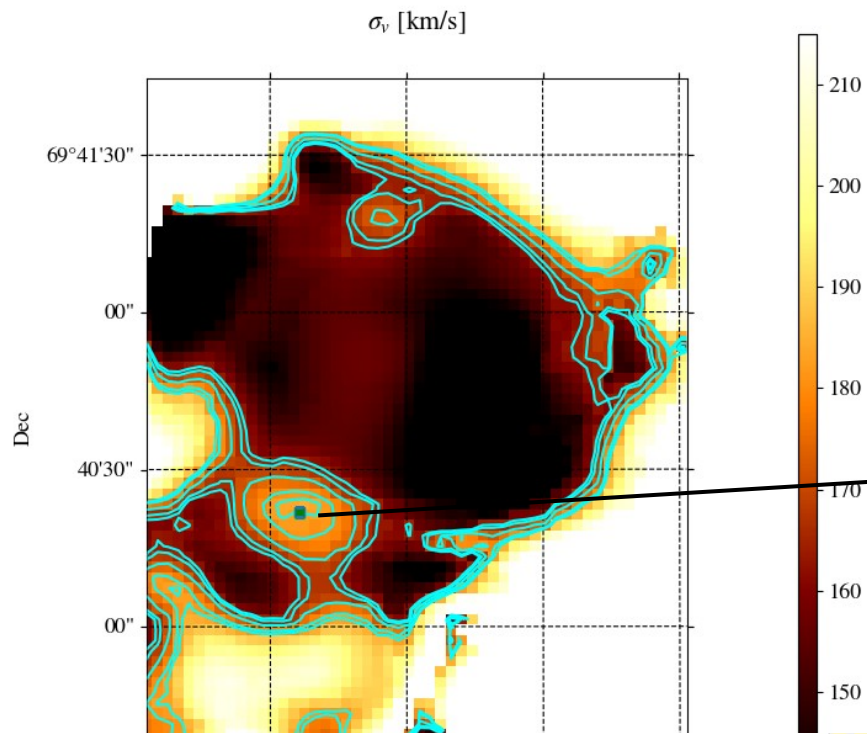


100

200

300

400



Fazit

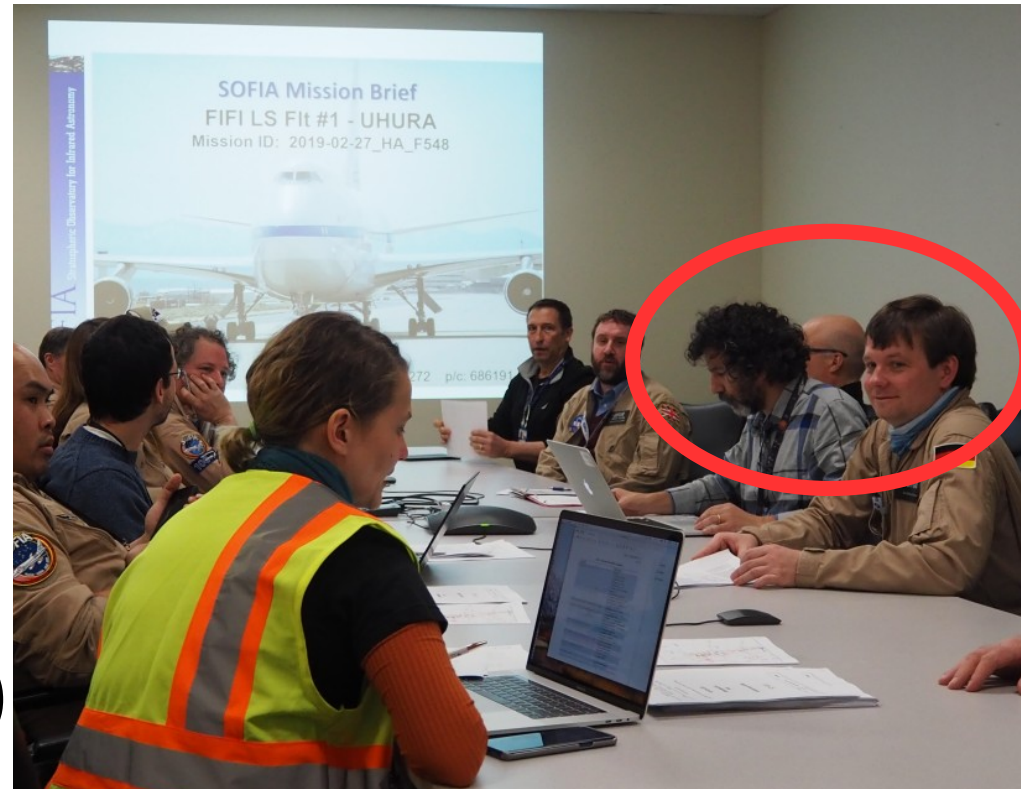
- SOSPEX ist von Schülern bedienbar
- Es ist ein Visualisierungstool
- Fördert „Gespür“ für die Vorgänge, wenn die Grundlagen verstanden sind
- Quantitative Auswertungen möglich aber umständlich
- Verlässlichkeit der Anpassungen kann und sollte thematisiert werden

Ausblick

- Test mit verschiedenen Gruppen (Kurs, AG, IMP - Klasse)
- Anleitungen auf Deutsch
- Liste von lohnenden Datensätzen mit Auswertungszielen?
- ...

Vielen Dank!

- An Dario Fadda (SOSPEX Support was great!)
- Christian Fischer (wissenschaftliche Beratung)
- Antje Lischke-Weis (DSI, SGAP tour guide)
- Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt

Joachim Groß

Schülerforschungszentrum
Südwesttemberg (SFZ)

Standort Rt-Tü-Neckaralb

Mühleweg 5, 72800 Eningen u.A.

Mail: joachim.gross@sfz-bw.de

Graf Eberhard Gymnasium

Immanuel-Kant-Str. 26

72574 Bad Urach

Mail: gr@geg-bu.de