

# Astrophysikalische Maser & Sternentstehung

Von Hannah Schmitz  
Schülerpraktikantin  
31.01-11.04.2014

Max-Planck-Institut für Radioastronomie  
Betreuer: D.Muders & S.Leurini

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Hintergrundwissen

1.1 Elektromagnetische Wellen

1.2 Dopplereffekt

1.3 Nebel

1.4 Kernfusion

## 2. Sternentstehung

2.1 Voraussetzungen zur  
Sternbildung

2.2 Entwicklung eines Sterns

2.3 Erste Schritte der  
Entwicklung

2.4 Protostern

2.5 Klassenunterteilung

2.6 Ein entstandener Stern

### 3. Astrophysikalische Maser

3.1 Was sind Maser ?

3.2 Entdeckung der Maser

3.3 Voraussetzungen für  
Maserstrahlung

3.4 Besetzungsinversion

3.5 Vorteile der Maser

3.6 Dopplereffekt bei Masern

3.7 Masergeometrie

3.8 Maserbeobachtungen mit  
Effelsberg und IRAM 30m

3.9 Spektren der Maser

3.10 Durch ATLASGAL  
erstellte Bilder der Maser

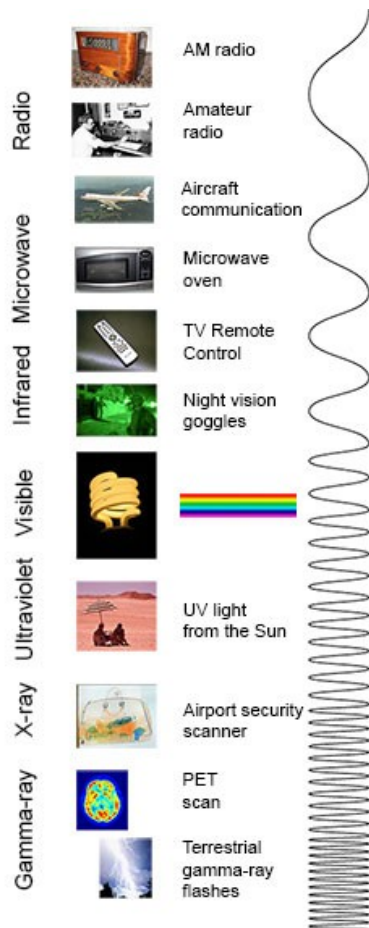
### 4. Quellen

4.1 Bildquellen

4.2 Textquellen

# 1. Hintergrundwissen

## 1.1 Elektromagnetische Wellen



Auf der Erde und im Weltall sind überall elektromagnetische Wellen. Dabei können wir nur einen kleinen Teil sehen, wie z.B. Sternenlicht.

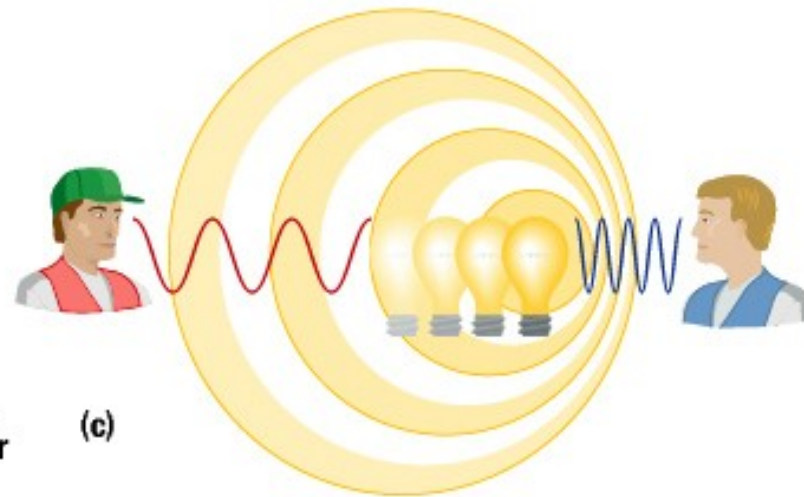
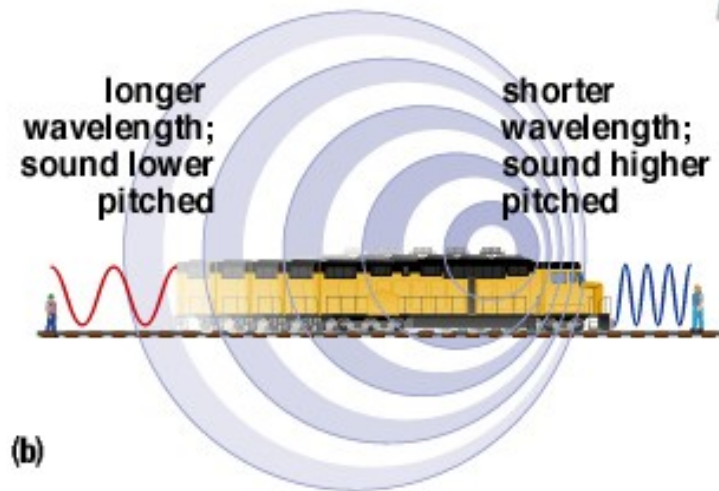
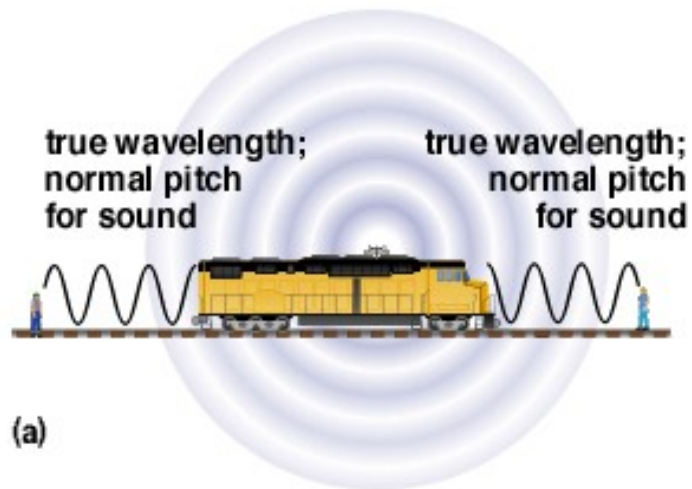
Die elektromagnetischen Wellen werden mit Frequenz, Energie oder Wellenlänge angegeben.

Je kleiner die Frequenz und die Energie sind, desto länger ist die Wellenlänge.

Je höher die Frequenz und die Energie sind, desto kleiner ist die Wellenlänge.

## **1.2 Dopplereffekt**

- Entdeckt durch Christian Doppler, der diesem Effekt den Namen gab
- Beispiel : Ein Krankenwagen mit Sirene fährt auf einen zu, der Abstand der Wellenberge der Schallwellen der Sirene werden kleiner wodurch wir den Ton als höher empfinden . Fährt der Krankenwagen jedoch von uns weg werden die Abstände größer und der Ton erscheint uns als tiefer.
- Dieser Effekt tritt auch bei Lichtwellen auf.



# 1.3 Nebel

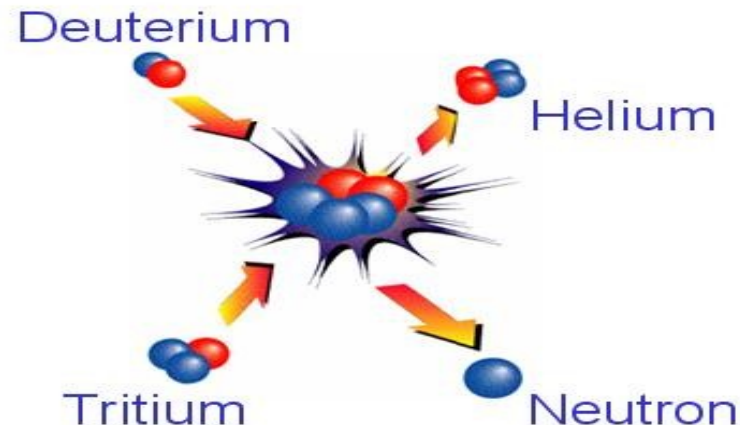
Es gibt verschiedene Arten von Nebel:

- Emissionsnebel: Der aus Gas bestehende Nebel leuchtet von sich aus durch interne Energiequellen.
- Reflexionsnebel: Dieser Nebel leuchtet wie der Name schon sagt nur, wenn der in ihm befindliche Staub vom Licht der Nachbarsterne reflektiert wird.
- Dunkelnebel: Dieser aus Gas und Staub bestehende Nebel versperrt die Sicht auf Weltraumregionen hinter ihm, da er das Licht aufnimmt. In diesem Nebel bilden sich Wasserstoffmoleküle, daher ist der Nebel der Entstehungsort für neue Sterne.

# 1.4 Kernfusion

Sterne erhalten ihre Energie durch Kernfusion. Bei dieser Reaktion verschmelzen Wasserstoffkerne (Deuterium/Tritium) zu Helium und einem Neutron, wobei Energie frei wird.

Durch diese Energie kann die Sonne so lange leben, ohne wie bei einer Oxidation schnell zu verbrennen.





# 2. Sternentstehung

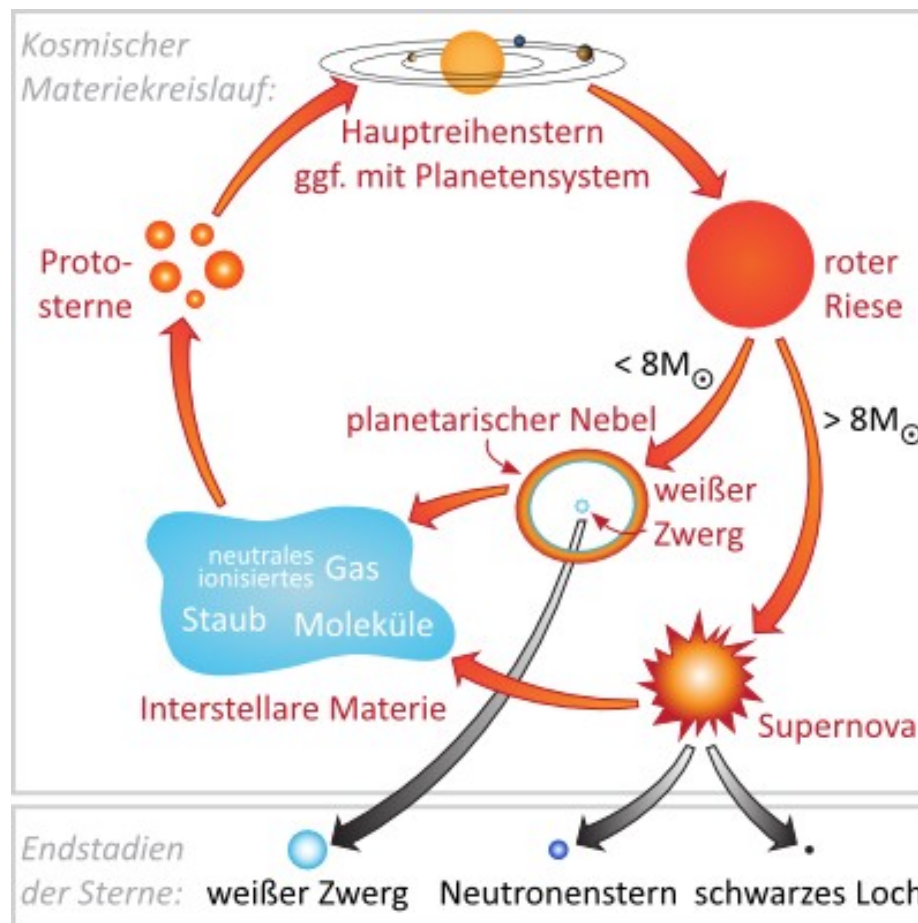
## 2.1 Voraussetzungen

Damit ein Stern entsteht müssen Dunkelnebel vorhanden sein. In diesem Nebel bilden sich Wasserstoffmoleküle, so genannte Molekülwolken. Diese Wolken haben eine sehr hohe Dichte und enthalten Staubkörner, wodurch sie nicht sichtbar sind.

Zudem sollte das Sternentstehungsgebiet sehr kalt sein, um den inneren Druck zu reduzieren.

→ Daher sind HI-Gebiete für die Sternentstehung geeignet.

# 2.2 Entwicklung eines Sterns



## 2.3 Erste Schritte der Entwicklung

Zunächst kollabiert die Gaswolke durch ihre eigene Schwerkraft. Dies geschieht sobald entweder der Grenzradius oder die Grenzmasse überschritten wird, wie James Jeans feststellte. Daher wird erkennbar dass der Kollaps sowohl von der Dichte als auch von der Temperatur abhängig ist.

Aus der kollabierenden Wolke ist nun ein Protostern entstanden.

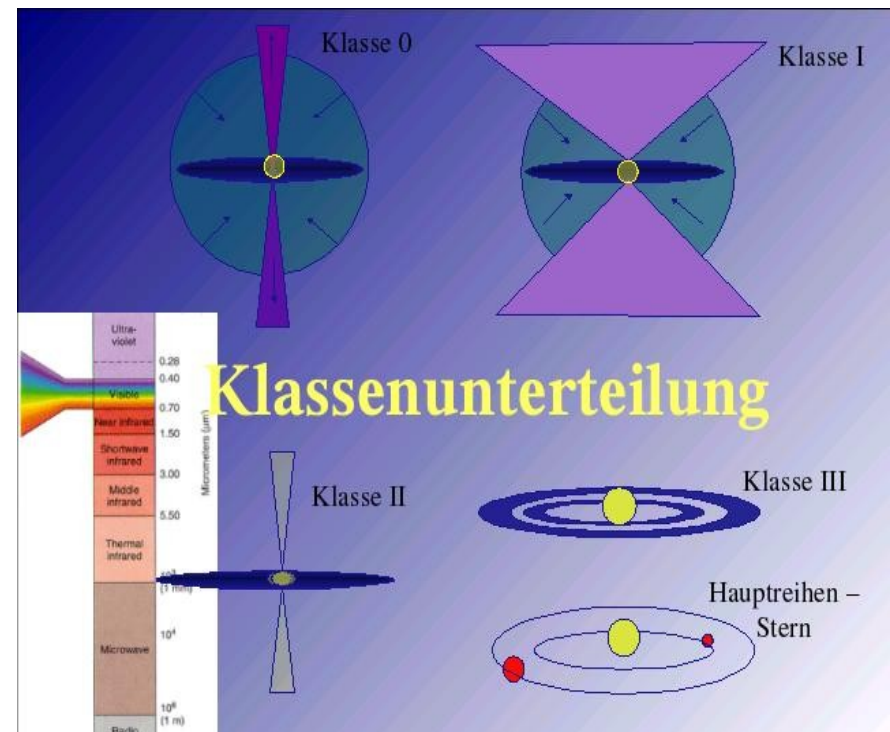
$$m_G = \sqrt[3]{T/p}$$

$$r_G = \sqrt{T/p}$$

# 2.4 Protostern

Die Entwicklung des **Protosterns** ist in vier Klassen unterteilbar.

Am Ende seiner Entwicklung ist er ein **Hauptreihenstern**.



# 2.5 Klassenunterteilung

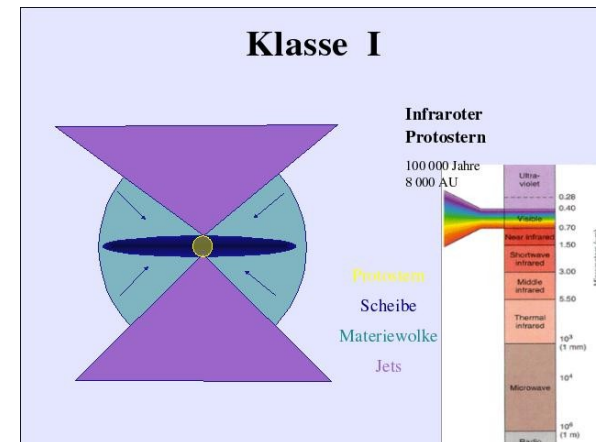
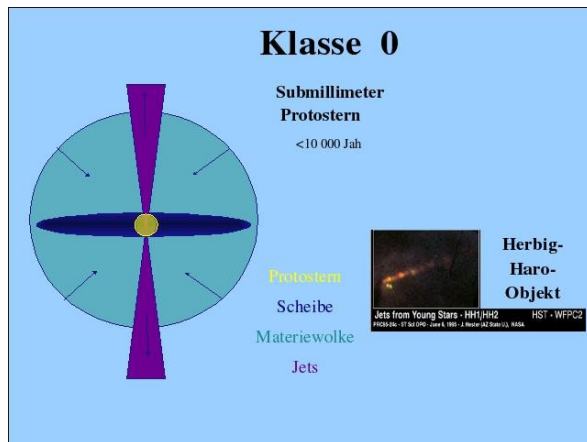
- Klasse 0:

Der Protostern, der im Sub-mm-Bereich strahlt, hat mit seiner Akkretion bereits begonnen. Dennoch hat er wenig Masse im Kern, da ein Großteil der Masse, die aus der vorhergegangenen Verdichtung stammt, noch in der Hülle ist.

Außerdem ist durch die Rotation eine Scheibe entstanden.

- Klasse 1:

Die 100000 Jahre alten Protosterne strahlen nun Infrarot. Nun hat der Kern mehr Masse als die Hülle. Zudem haben sich die Winkel der Jets vergrößert. Das Ganze hat nun eine Größe von 8000 AU (Astronomische Einheit).

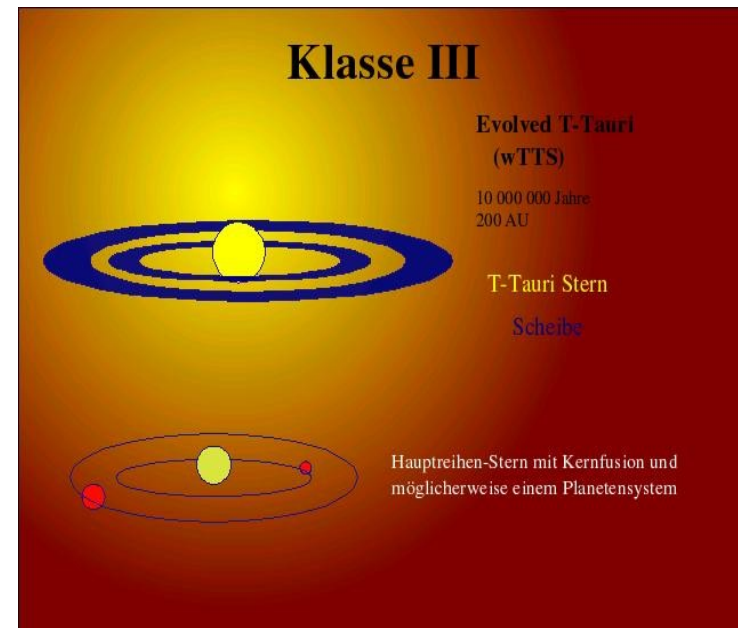
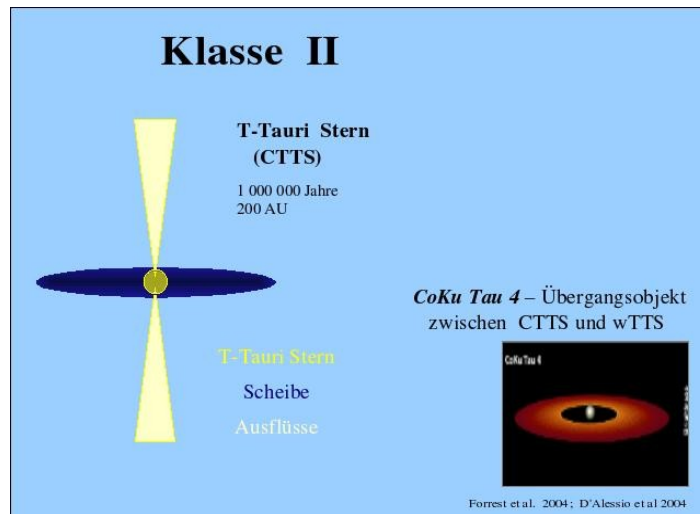


- Klasse 2:

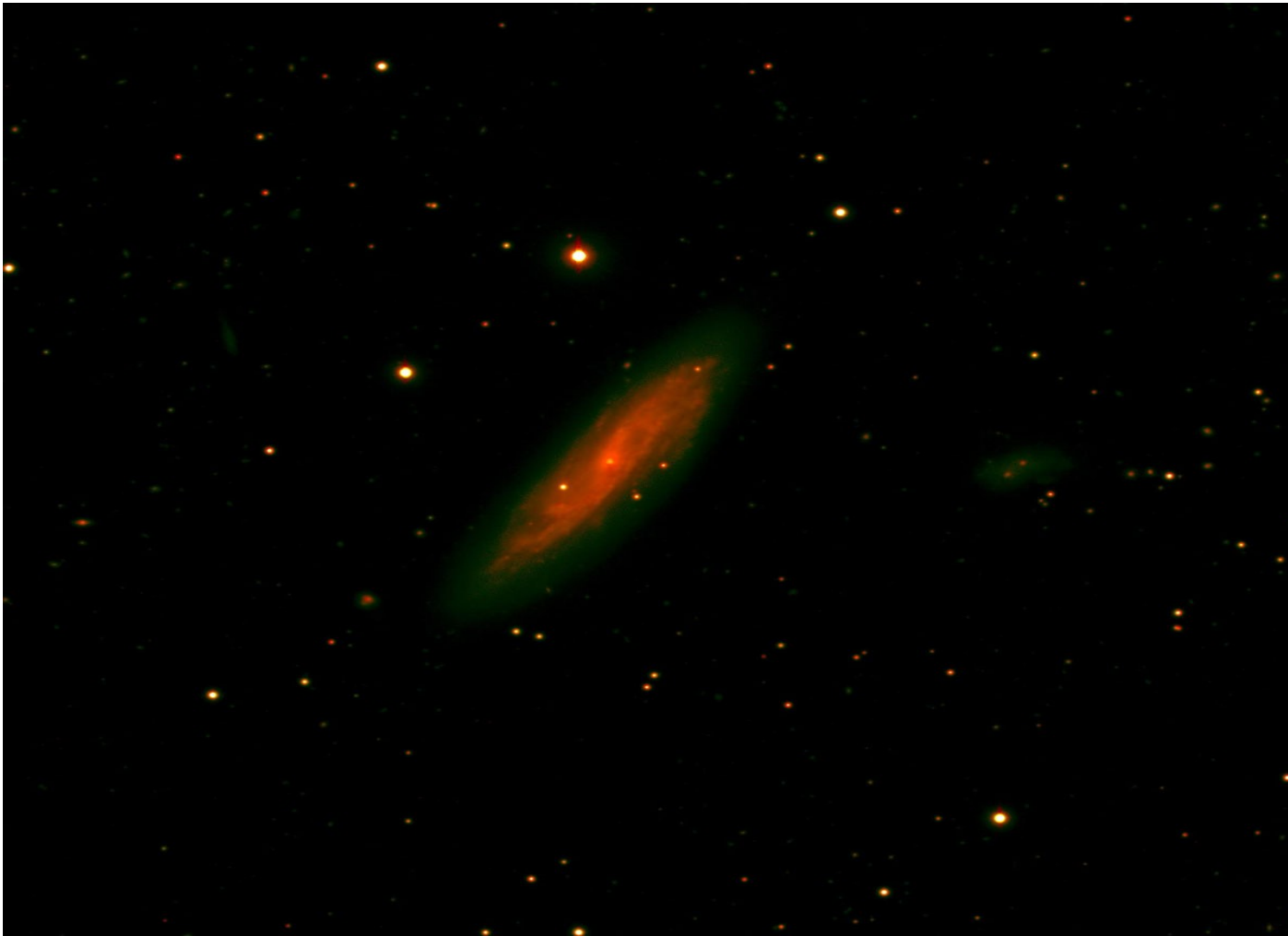
Der nun 1000000 Jahre alte Stern wird als T-Tauri Stern bezeichnet. Während er weiterhin durch seine Scheibe akkretiert stößt er zwei Ausflüsse aus. Dabei hat er eine Größe von 200 AU erreicht.

- Klasse 3:

In der letzten Klasse der Sternentwicklung nimmt die Akkretion stark ab und es bilden sich Planeten. Der T-Tauri Stern heißt nun Evolved T-Tauri Stern. Dieses Stadium eines Hauptreihensterns hat der Stern nach  $10^7$  Jahren erreicht. Nun beginnt die Kernfusion.



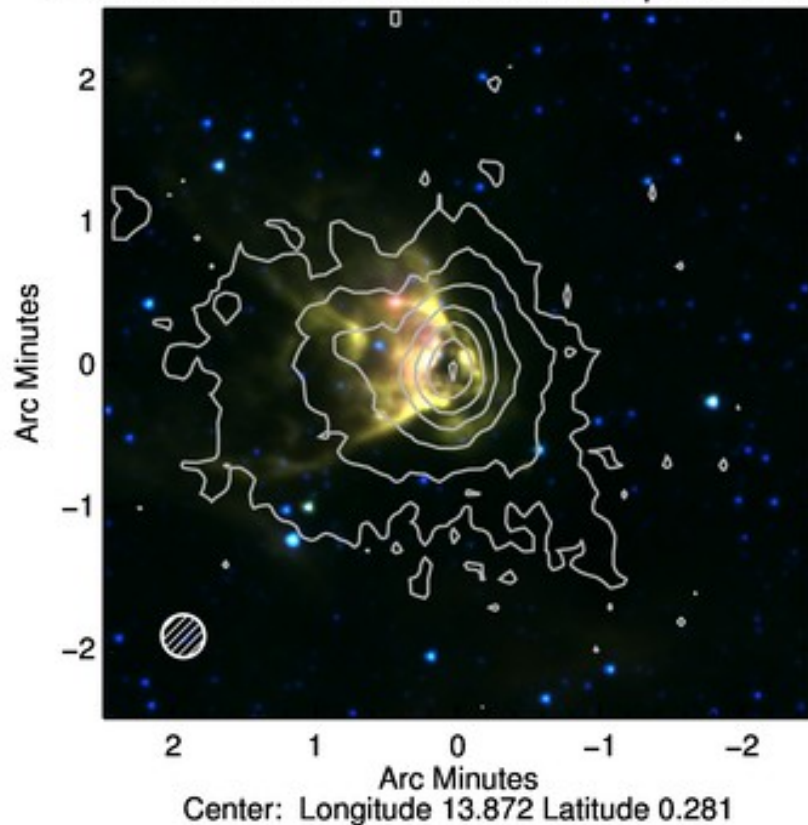
## 2.6 Ein entstandener Stern



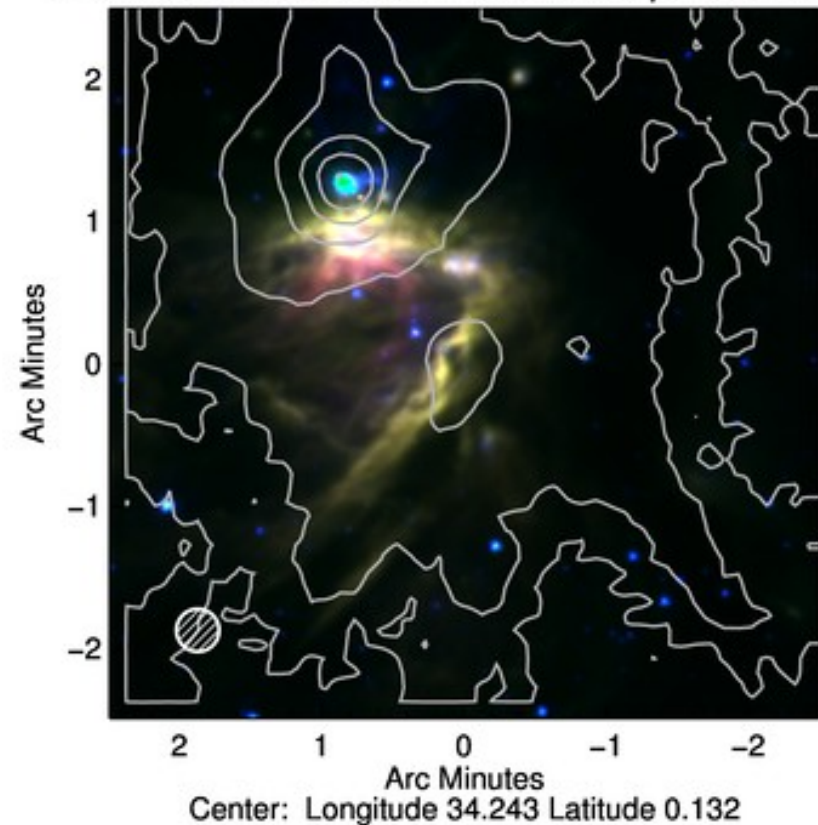


# 3. Astrophysikalische Maser

AGAL013.872+00.281 IRAC + 870  $\mu\text{m}$  Contours



AGAL034.243+00.132 IRAC + 870  $\mu\text{m}$  Contours





# 3.1 Was sind Maser ?

## Maser sind :

- Maser= Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Verstärkung von Mikrowellen durch stimulierte Emission von Strahlung)
- Laser im Mikrowellen Bereich
- Eine mögliche Art von Radiostrahlung von Molekülen in interstellaren Gaswolken

## 3.2 Entdeckung der Maser

- **1917:**

Albert Einstein beschreibt erstmals den Mechanismus eines Masers. Diesen kann er jedoch auf Grund mangelnder Technik nicht umsetzen.

- **1953:**

Charles H. Townes von der Columbia-Universität in New York entwickelt den ersten Maser im Labor.

- **1963**

Alan H. Barrett, Massachusetts Institute of Technology empfing Signale vom Hydroxyl-Radikal(OH-) aus interstellaren Gaswolken, dessen Eigenschaften nicht denen der statistischen Physik zu entsprechen schienen.

- **1965:**

Harold F. Weaver empfing Radiostrahlung, die er zunächst nicht erkannte. Daher benannte er sie "Mysterium", bis dieses als das Hydroxyl-Radikal identifiziert wurde. Seine Eigenschaften sind ungewöhnlich, so sind die Mikrowellen intensiv und fast vollständig polarisiert und die Emissionslinie scheint viel schmaler.

## 3.3 Voraussetzungen für Maserstrahlung

Für die Maserstrahlung muss eine Besetzungsinversion vorliegen. Diese ist dann vorhanden, wenn mehr Atome/Moleküle in einem höherenergetischen Zustand sind als Atome/Moleküle in einem niederenergetischen Zustand. **Die Inversion tritt dann ein, wenn die Teilchendichte unter einem festgelegten Wert ist.** Beim Hydroxyl-Maser sind daher nicht mehr als 100000 Teilchen pro Kubikzentimeter vorhanden.

Diese Voraussetzungen sind in Sternentstehungsgebieten in frühen oder späten Entwicklungsstadien gegeben.

## 3.4 Besetzungsinversion

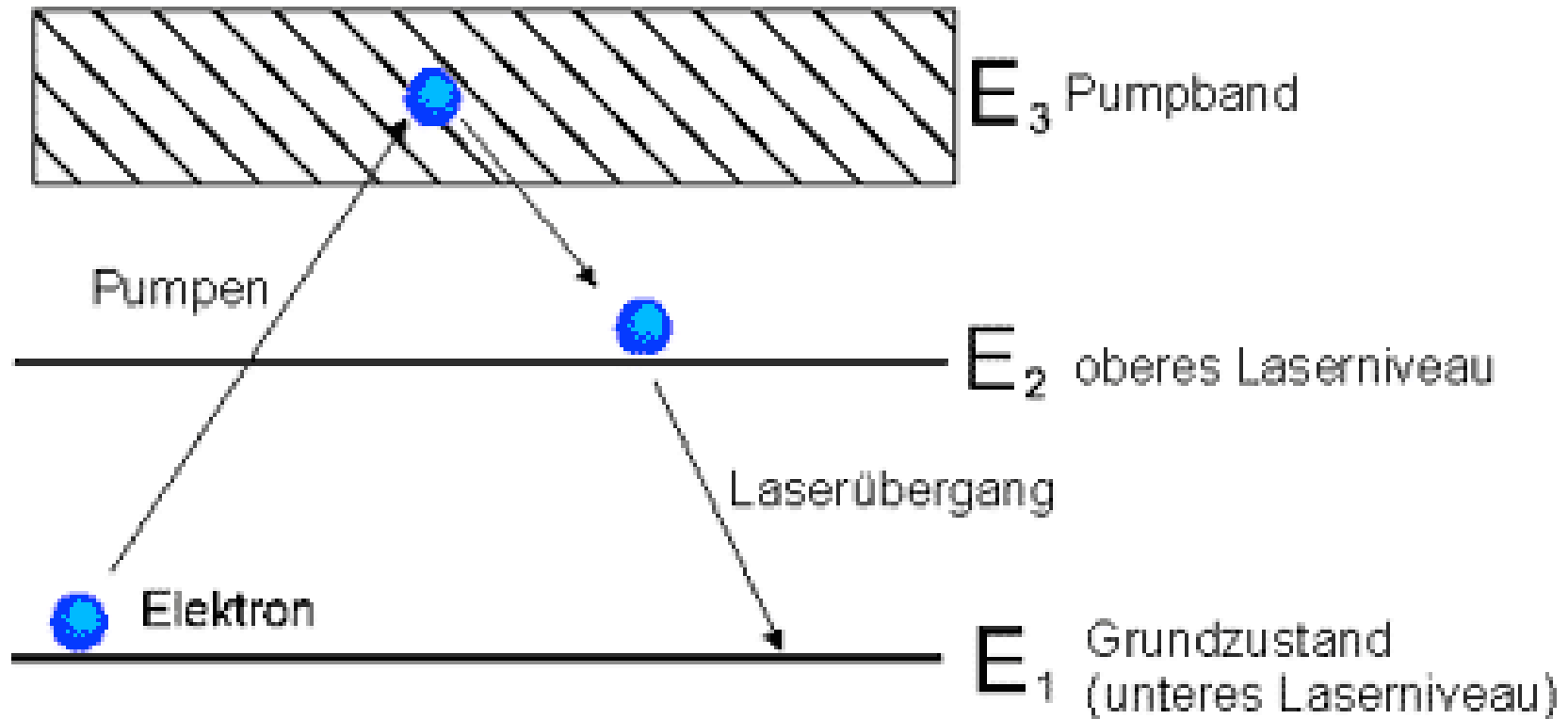
- Besetzungsinversion in technischen Masern:

Um eine Bestzungsinversion zu erzeugen muessen drei Energieniveaus vorhanden sein: Grundniveau, kurzfristiges oberes Energieniveau und länger dauerndes mittleres Energieniveau.

Vom Grundniveau aus werden die Moleküle/Atome durch Pumpen(Energiezufuhr) angregt in das obere Energieniveau zu wechseln. Dort bleiben sie jedoch nur kurz, sodass sie dann im mittleren Energieniveau sind → **Besetzungsinversion !**

In den Grundzustand gelangen sie nur durch die Emission eines Photons.

# Pumpen eines 3-Niveau-Lasers



Laser hier gleich Maser

- Besetzungsinversion in interstellaren Masern:

An interstellaren Masern sind meistens mehr Energieniveaus beteiligt, sodass es sehr komplex wird.

- Besetzungsinversion auf der Erde:

Unter unseren Bedingungen treten keine Besetzungsinversionen auf, da die mittleren Energiezustände nicht lange genug andauern.

## 3.5 Vorteile der Maser

- Durch das ausströmende Gas können Druck- und Temperaturverhältnisse und Geschwindigkeiten ermittelt werden.
- Die geringe Ausdehnung und die hohe Intensität führen dazu, dass es Erkenntnisse über die Struktur der Maser gibt. Diese ist nur so erkennbar.
- Da die Maser in Sternentstehungsgebieten mit frühen oder späten Entwicklungsstadien vorfindbar sind, können diese bisher wenig erforschten Stadien untersucht werden.



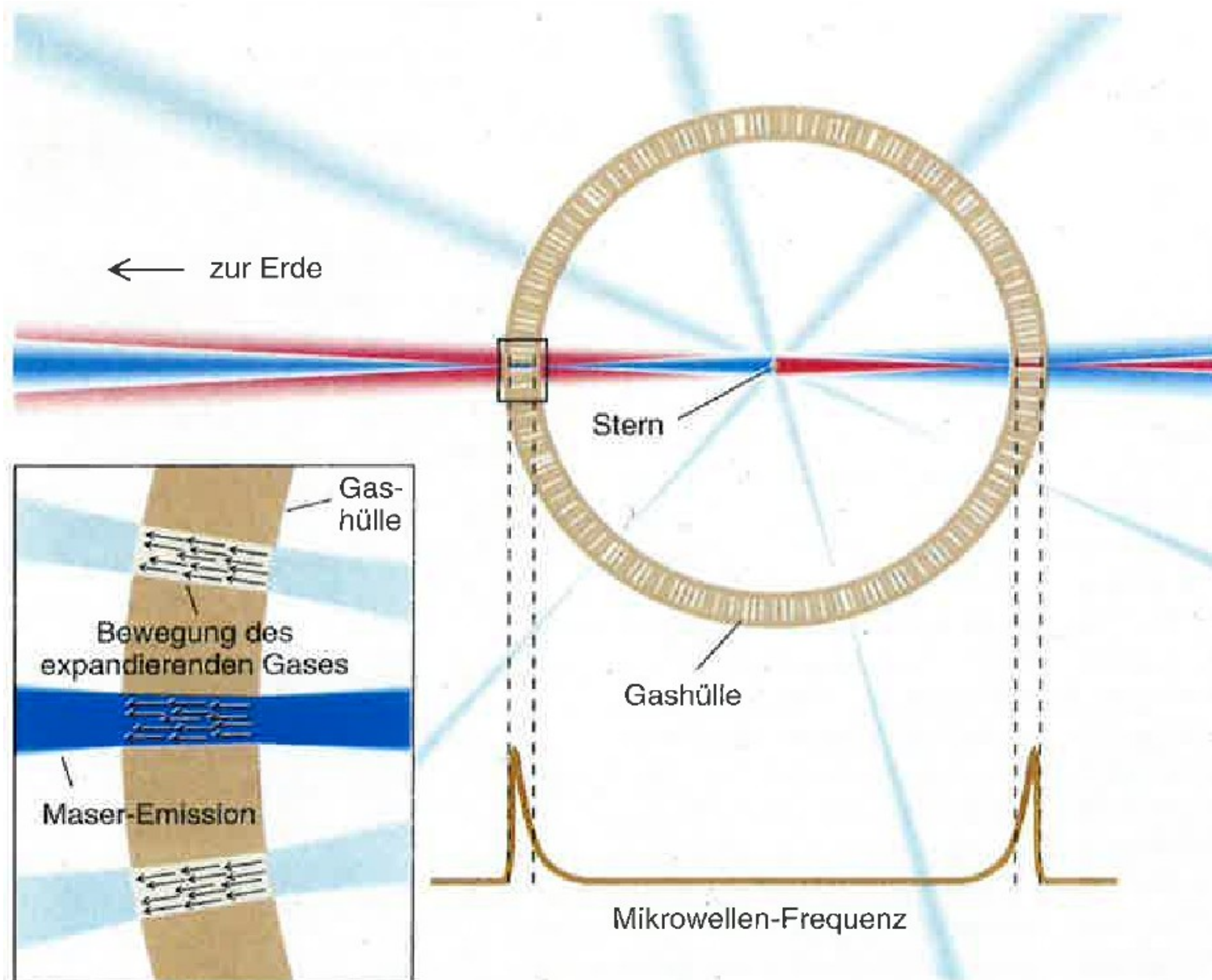
## 3.6 Dopplereffekt bei Masern

Durch den bei der Emission auftretenden Dopplereffekt werden im Spektrum der Maserstrahlung zwei getrennte Peaks erkennbar. Die Geometrie der Masergebiete ist kugelförmig und dadurch sieht der Beobachter zwei verschiedene Geschwindigkeiten.

Hierbei werden zwei Emissionslinien unterschieden, die eine ist blauverschoben und die andere rotverschoben.(siehe 1.1)

Die blauverschobene ist von dem Gas, das auf die Erde zuströmt und die rotverschobene von dem Gas, das von der Erde wegströmt.

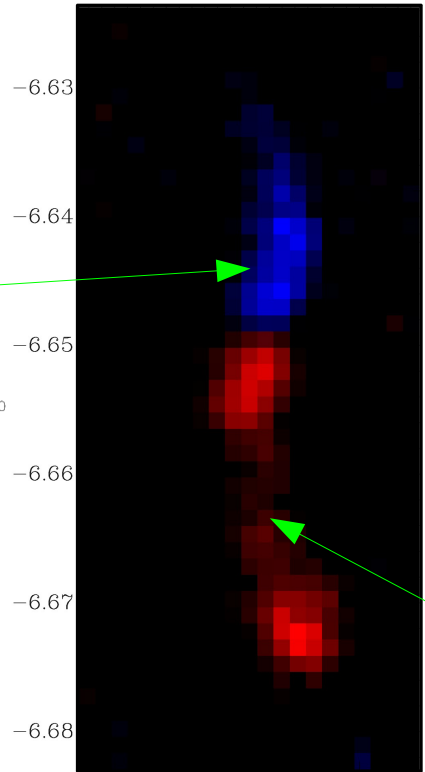
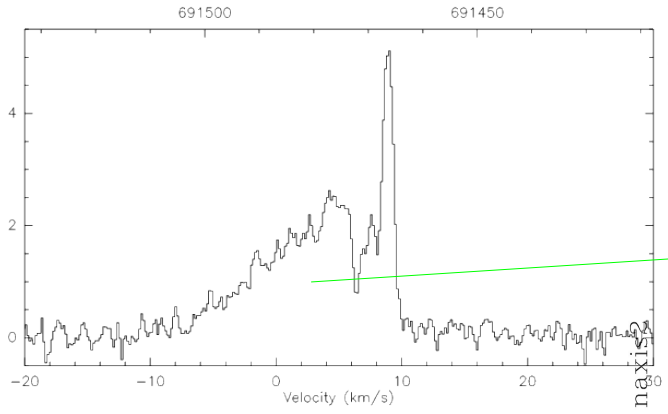
# 3.7 Masergeometrie



# Untersuchung der Quellendynamik mit Hilfe des Dopplereffekts: Das Beispiel Bipolare Ausflüsse (wie bei Klasse 2 Sternen)

```

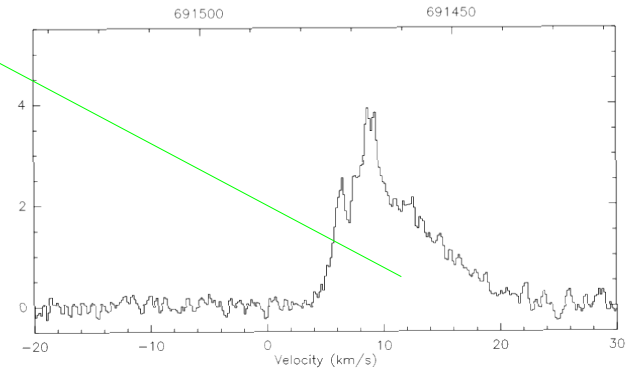
0: 0 V380      CO(6-5)  AP-C60      0:18-JAN-2014 R:18-JAN-2014
RA: 05:36:36.30 DEC: -06:38:58.0 Eq 2000.0 Offs: -18.8 +14.7
Unknown tau: 0.559 Tsys: 1817. Time: 8.8 min El: 0.0
N: 750 ID: 375.000 VO: 6.000 Dv: 0.1588 LSR
FO: 691473.076 Df: -0.3663 Fi: 679472.976
Bef: 1.00 Fef: 0.95 Gim: 1.0000E-01
Scan: 71786 Subscan: 1
    
```



Bipolarer Ausfluss in der Quelle V380, die sich im Orionnebel befindet (mit APEX aufgenommen)

```

0: 0 V380      CO(6-5)  AP-C60      0:18-JAN-2014 R:18-JAN-2014
RA: 05:36:36.30 DEC: -06:38:58.0 Eq 2000.0 Offs: -0.9 -17.3
Unknown tau: 0.572 Tsys: 1655. Time: 9.9 min El: 0.0
N: 750 ID: 375.000 VO: 6.000 Dv: 0.1588 LSR
FO: 691473.076 Df: -0.3663 Fi: 679472.976
Bef: 1.00 Fef: 0.95 Gim: 1.0000E-01
Scan: 71786 Subscan: 1
    
```



84.160 84.158 84.156 84.154 84.148 84.140  
-----GLS



APEX

## 3.8 Maserbeobachtungen mit Effelsberg und IRAM 30m



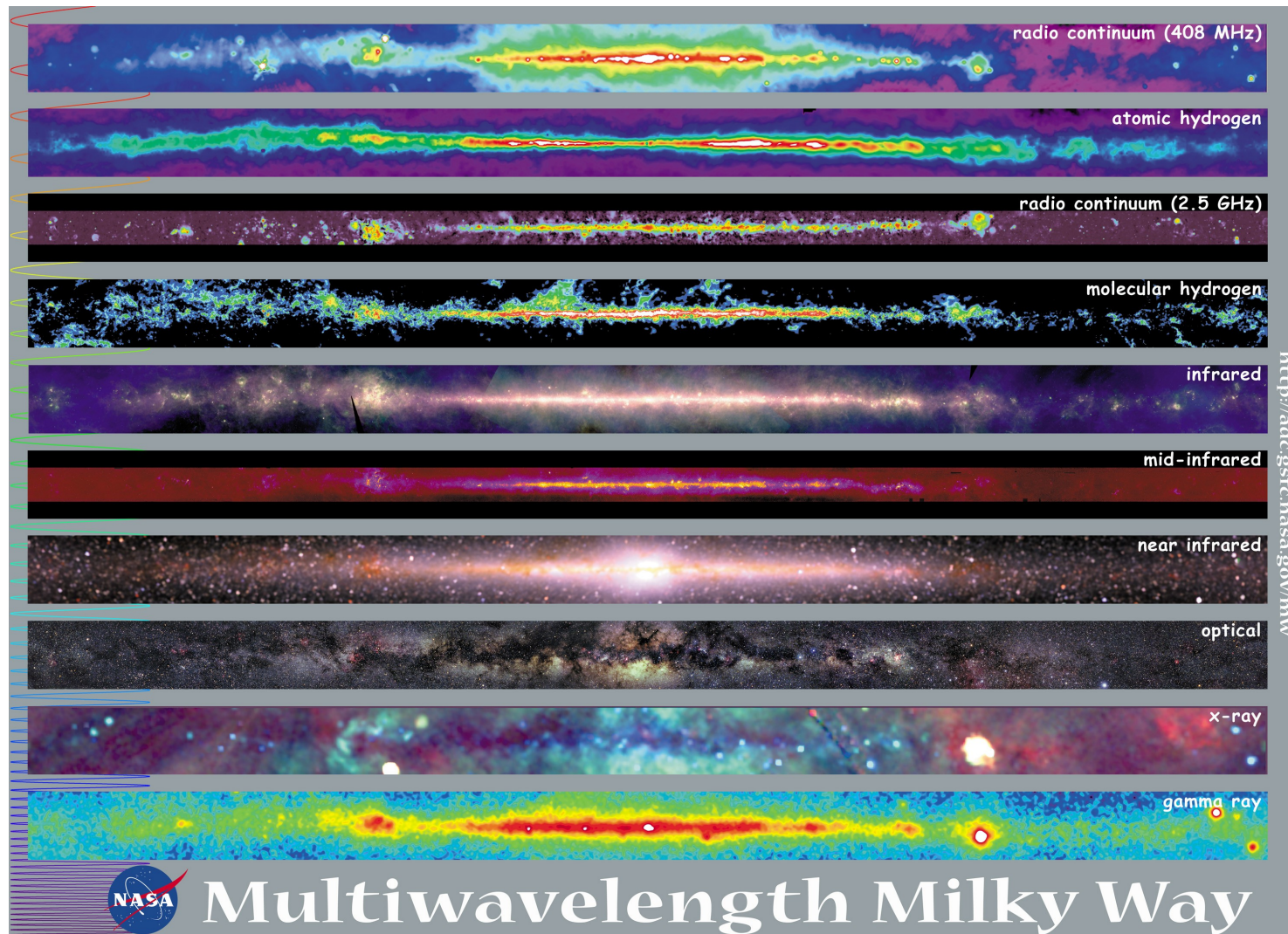
IRAM 30m



Effelsberg 100m

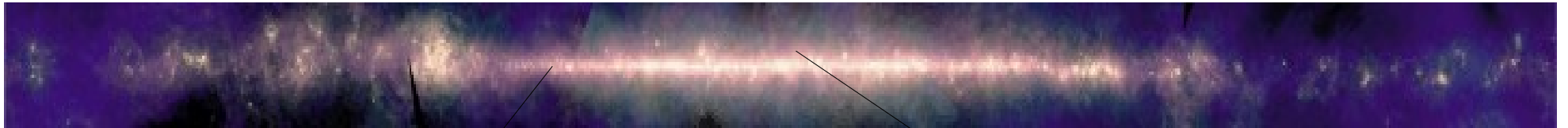


# Milchstraße aufgenommen in verschiedenen Wellenlängenbereichen

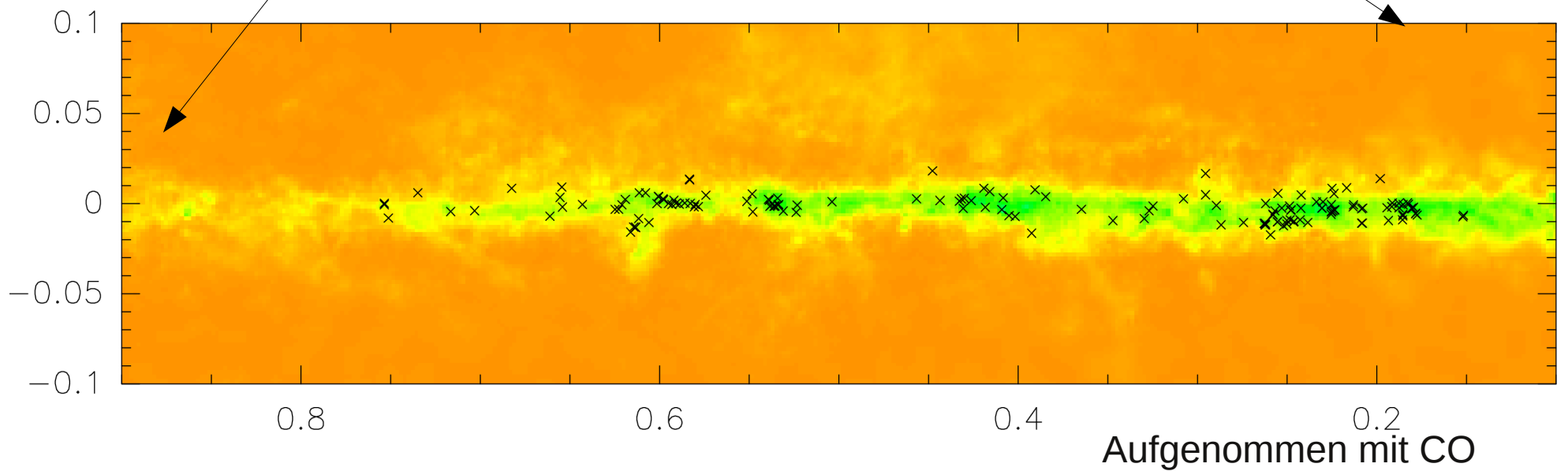


Bei verschiedenen Wellenlängen sind verschiedene Teile der Milchstraße zu sehen

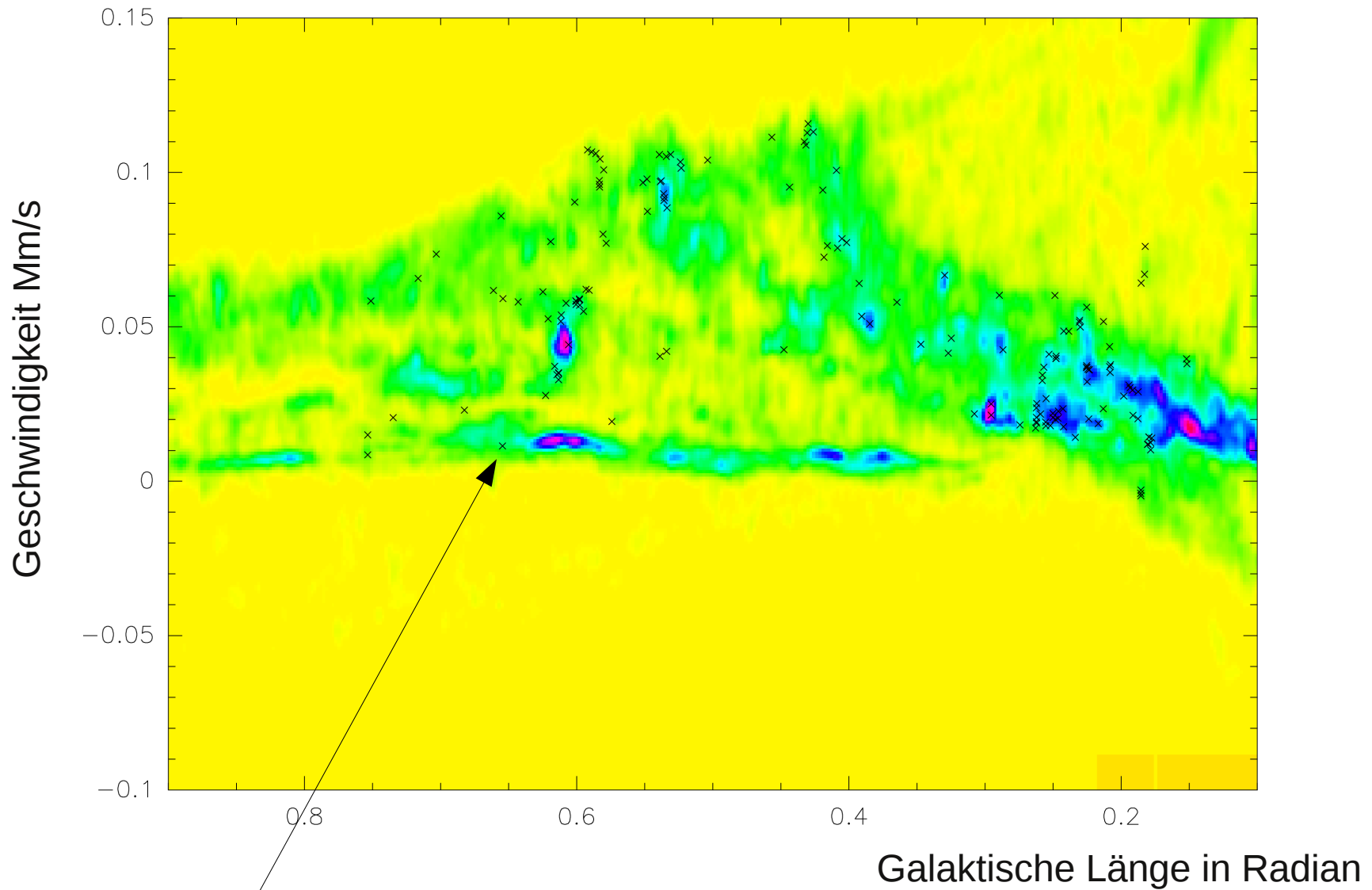
# Milchstraße im infraroten Wellenlängenbereich



Die Kreuze geben die Orte der Maser an



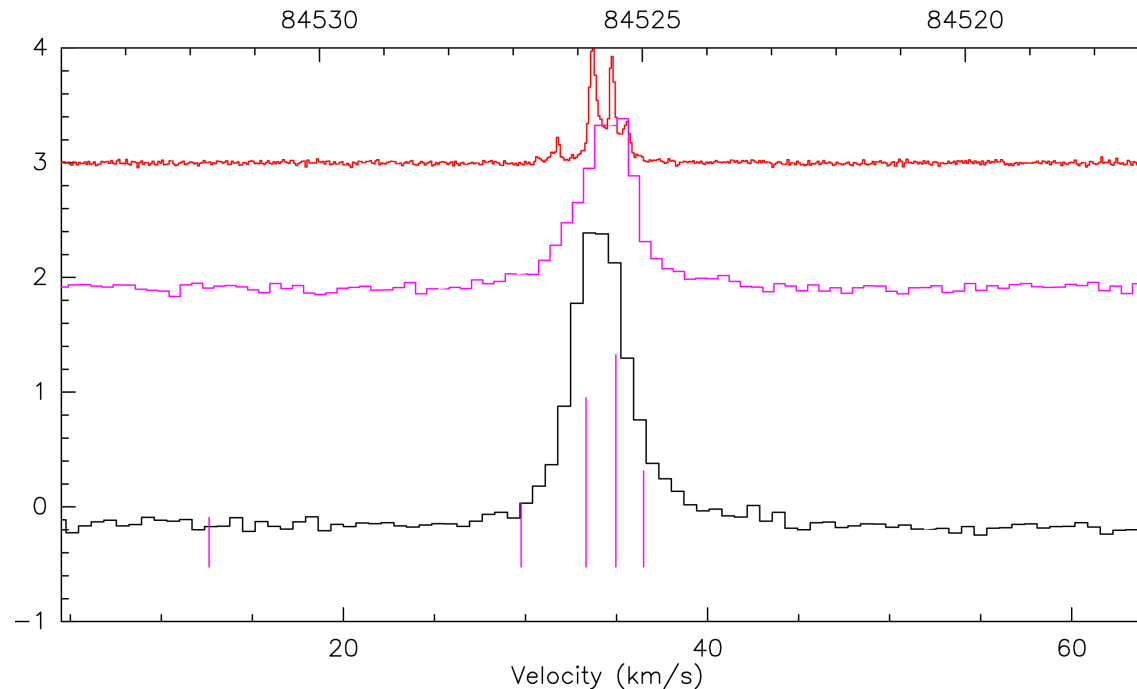
# Geschwindigkeiten aufgenommen mit CO



Die Geschwindigkeiten der Maser passen zu denen der Molekülwolken

# 3.9 Spektren der Maser

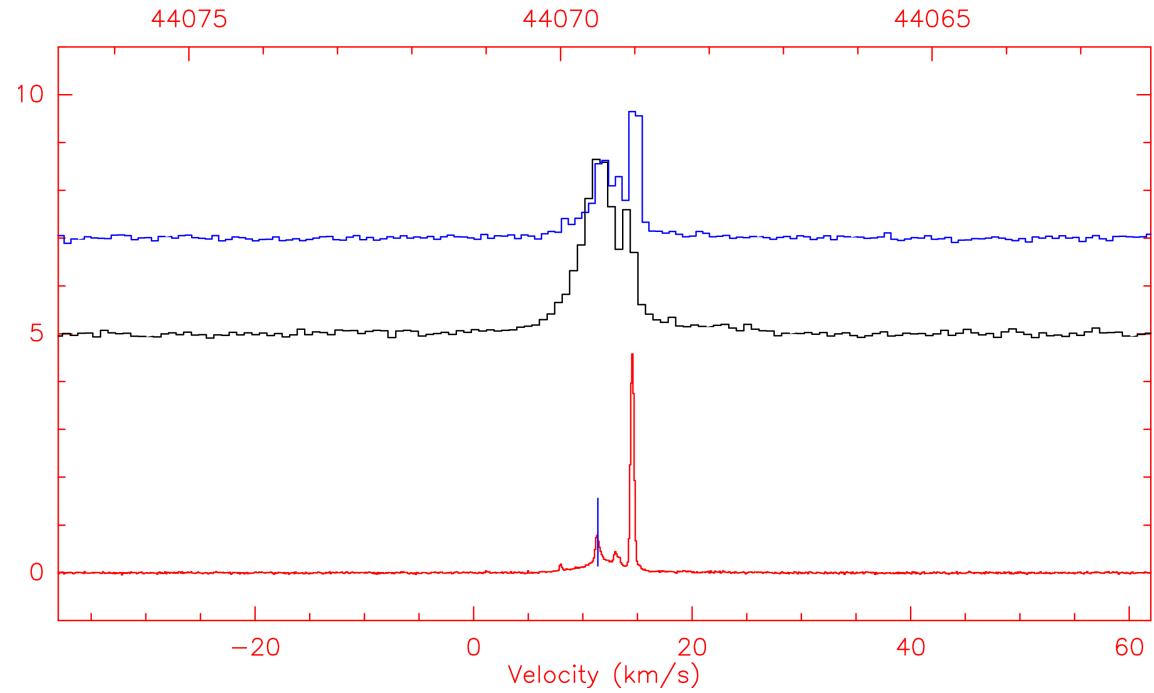
62; 2 G35.20-0.74 84GHz 30ME0VLI-F02 0:09-APR-2011 R:08-APR-2014  
RA: 18:58:12.93 DEC: 01:40:40.6 Eq 2000.0 Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.045 Tsys: 104. Time: 3.5 min El: 32.0  
N: 20481 IO: 16839.8 VO: 50.00 Dv: 0.6928 LSR  
FO: 84521.1720 Df: -0.1953 Fi: 99098.5989



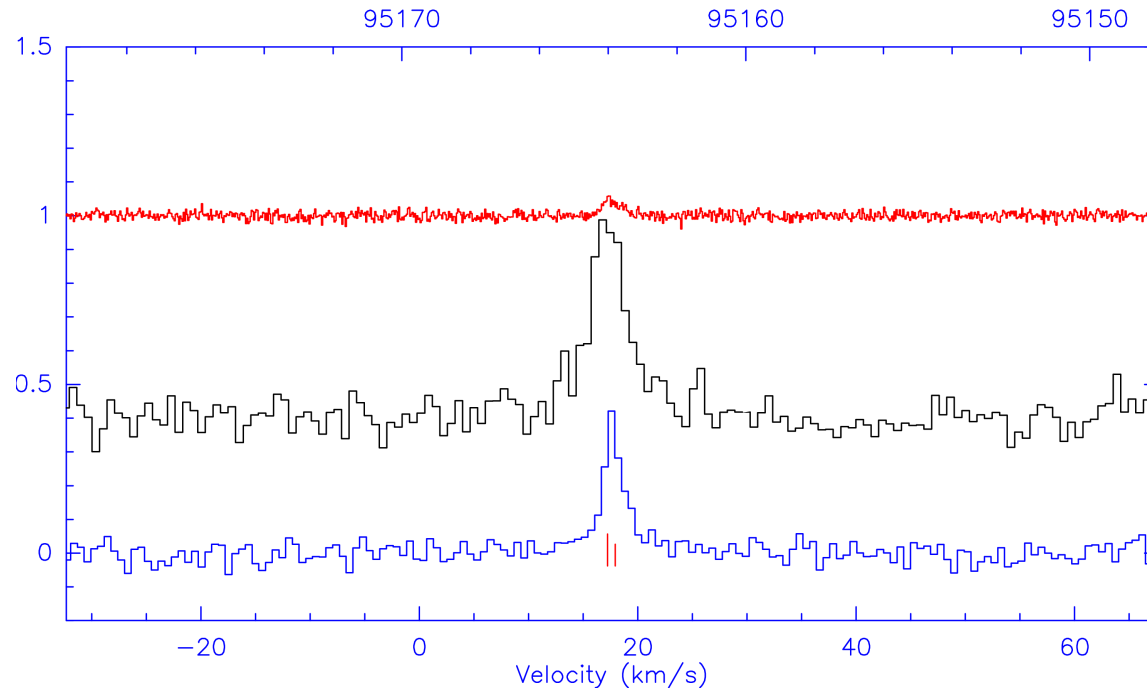
Aufgenommen mit den Teleskopen in Effelsberg und Spanien (IRAM 30m)



9; 4 G10.34-0.14 NONE S7MM01-XF02 0:30-MAR-2014 R:02-APR-2014  
RA: 18:09:00.01 DEC: -20:03:35.8 Eq 2000.0 Offs: -0.4 +0.4  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 25. Time: 18. min El: 17.2  
N: 32768 IO: 5395.30 VO: 11.97 Dv: 0.1038 LSR  
FO: 44069.4100 Df: -1.5257E-02 Fi: -167.657195

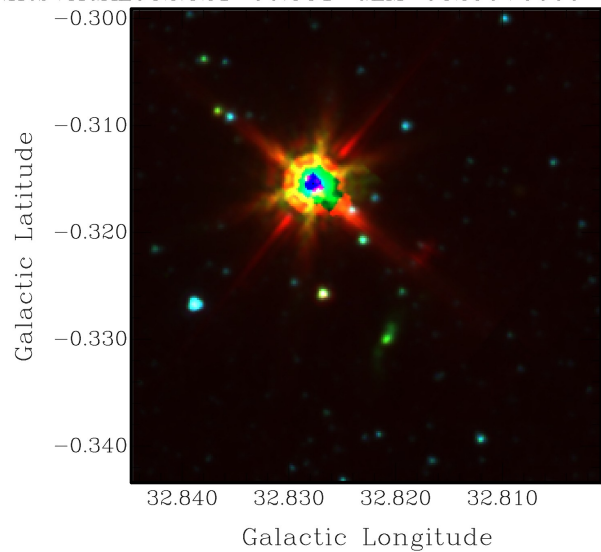


211; 4 G13.88-0.14 95GHz 30ME0HLO-F07 O:11-OCT-2012 R:08-APR-2014  
RA: 18:16:10.12 DEC: -16:57:15.5 Eq 2000.0 Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.029 Tsys: 104. Time: 4.5 min El: 28.2  
N: 20737 I0: 5840.41 V0: 0.000 Dv: 0.6153 LSR  
F0: 95169.4890 Df: -0.1953 Fi: 112809.561

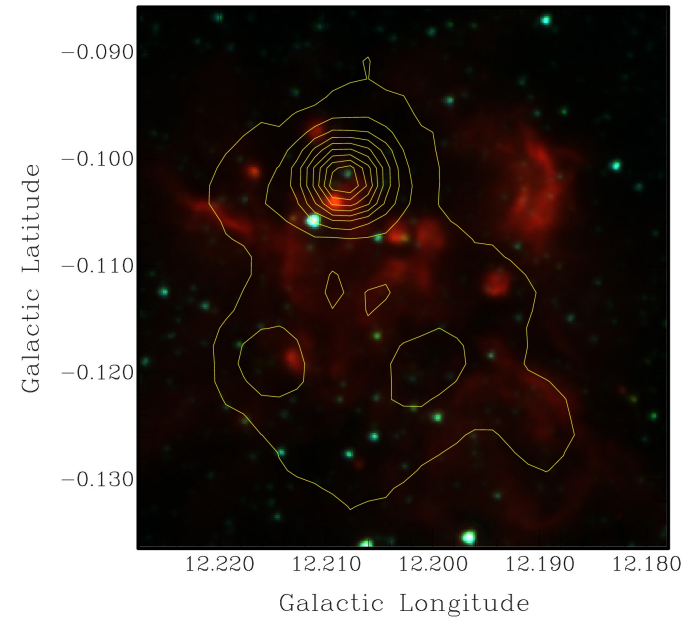


## 3.10 Durch ATLASGAL und Glimpse erstellte Bilder der Maser

0000→4.fits+AGAL032.821-00.331→GLM→03250+0000→2.fits+AGAL032.821-00.331→GI



GAL012.208-00.102→GLM→01250+0000→2.fits+AGAL012.208-00.102→GI



## Information zu den durch ATLASGAL und Glimpse erstellten Bildern

Um diese Bilder zu erstellen arbeitet man mit dem Programm *kvis*. Dieses ermöglicht es einem durch *overlays* die Maserquellen optisch zu bearbeiten.

Die rote Farbe steht für die größte Wellenlänge, die blaue Farbe für die kleinste und die grüne für die mittlere Wellenlänge. In diesem Fall waren die Wellenlängen 3,5 ; 4,6 ; 8,0  $\mu\text{m}$ .

# Quellen

# 4.1 Bildquellen

- Folie 5: [static.cosmiq.de/data/de/a23/66/a2366295adb6955e2f4d39f4abf30c92\\_1\\_orig.jpg](http://static.cosmiq.de/data/de/a23/66/a2366295adb6955e2f4d39f4abf30c92_1_orig.jpg)
- Folie 6: [http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know\\_l1/emspectrum.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_l1/emspectrum.html)
- Folie 8: [https://www.itep.kit.edu/img/Tritiumlabor-Projeke\\_-\\_Atommodell-Deuterium\\_beschriftung.jpg](https://www.itep.kit.edu/img/Tritiumlabor-Projeke_-_Atommodell-Deuterium_beschriftung.jpg)
- Folie 10: <http://lp.uni-goettingen.de/get/image/7182>
- Folie 11:  
<http://www.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fabenteuer-universum.de%2Fstar%2Fjeans1.gif&imgrefurl=http%3A%2F%2F>
- Folie 12:  
[http://www.pro-physik.de/SpringboardWebApp/userfiles/prophy/image/Forschung/121205\\_Protostern\\_Nasa-PP\\_350.jpg](http://www.pro-physik.de/SpringboardWebApp/userfiles/prophy/image/Forschung/121205_Protostern_Nasa-PP_350.jpg)  
[http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 13: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 14: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 15: [http://www.mpia.de/Public/Aktuelles/PR/2008/PR080306/PR\\_080306\\_2gr.jpg](http://www.mpia.de/Public/Aktuelles/PR/2008/PR080306/PR_080306_2gr.jpg)
- Folie 16: [http://atlasgal.mpifr-bonn.mpg.de/cgi-bin/ATLASGAL\\_DATABASE.cgi](http://atlasgal.mpifr-bonn.mpg.de/cgi-bin/ATLASGAL_DATABASE.cgi)
- Folie 22: <http://www.experimentalchemie.de/bilder01/versuch-047/3-niveau.gif>
-

- Folie 26: Spektrum der Wissenschaft, April 1995
- Folie 27: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/apex>
- Folie 28:  
<http://iram-institute.org/EN/content-page.php?ContentID=55&rub=7&srub=55&ssrub=0&sssrub=0&sss>  
[http://www.rhein-eifel.tv/museen/effelsberg\\_radioteleskop.jpg](http://www.rhein-eifel.tv/museen/effelsberg_radioteleskop.jpg)
- Folie 29: [http://mwmw.gsfc.nasa.gov/mwpics/mwmw\\_8x10.jpg](http://mwmw.gsfc.nasa.gov/mwpics/mwmw_8x10.jpg)
- Folie 30: [http://mwmw.gsfc.nasa.gov/mmw\\_sci.html](http://mwmw.gsfc.nasa.gov/mmw_sci.html)

# 4.2 Textquellen

- Folie 4: [www.leifiphysik.de/themenbereiche-akustische-wellen](http://www.leifiphysik.de/themenbereiche-akustische-wellen)
- Folie 6: [http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/how\\_1/spectra.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/how_1/spectra.html)      [http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know\\_1/emspectrum.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_1/emspectrum.html)
- Folie 7: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 8 : <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kernspaltung-und-kernfusion>
- Folie 9: <http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/sternent.htm>  
[http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sternentstehung>  
[http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict\\_hoeger.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict_hoeger.pdf)
- Folie 11: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict\\_hoeger.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict_hoeger.pdf)  
[http://www.mpifr-bonn.mpg.de/194865/daniela\\_dahm.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/194865/daniela_dahm.pdf)  
[http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)  
<http://www.astro.uni-bonn.de/~deboer/praktikant/sternent.html>
- [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict\\_hoeger.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict_hoeger.pdf)
- Folie 12: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- 
- 
- [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/194865/daniela\\_dahm.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/194865/daniela_dahm.pdf)



- Folie 13: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 14: [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah\\_valder](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412886/hannah_valder)
- Folie 17-25 : Spektrum der Wissenschaft "Kosmische Maser" von Moshe Elitzur  
<http://www.jufo.stmg.de/2013/KosmischeMaser/KosmischeMaser.pdf>