

# Die Entstehung des Sonnensystems

**Volker Ossenkopf**

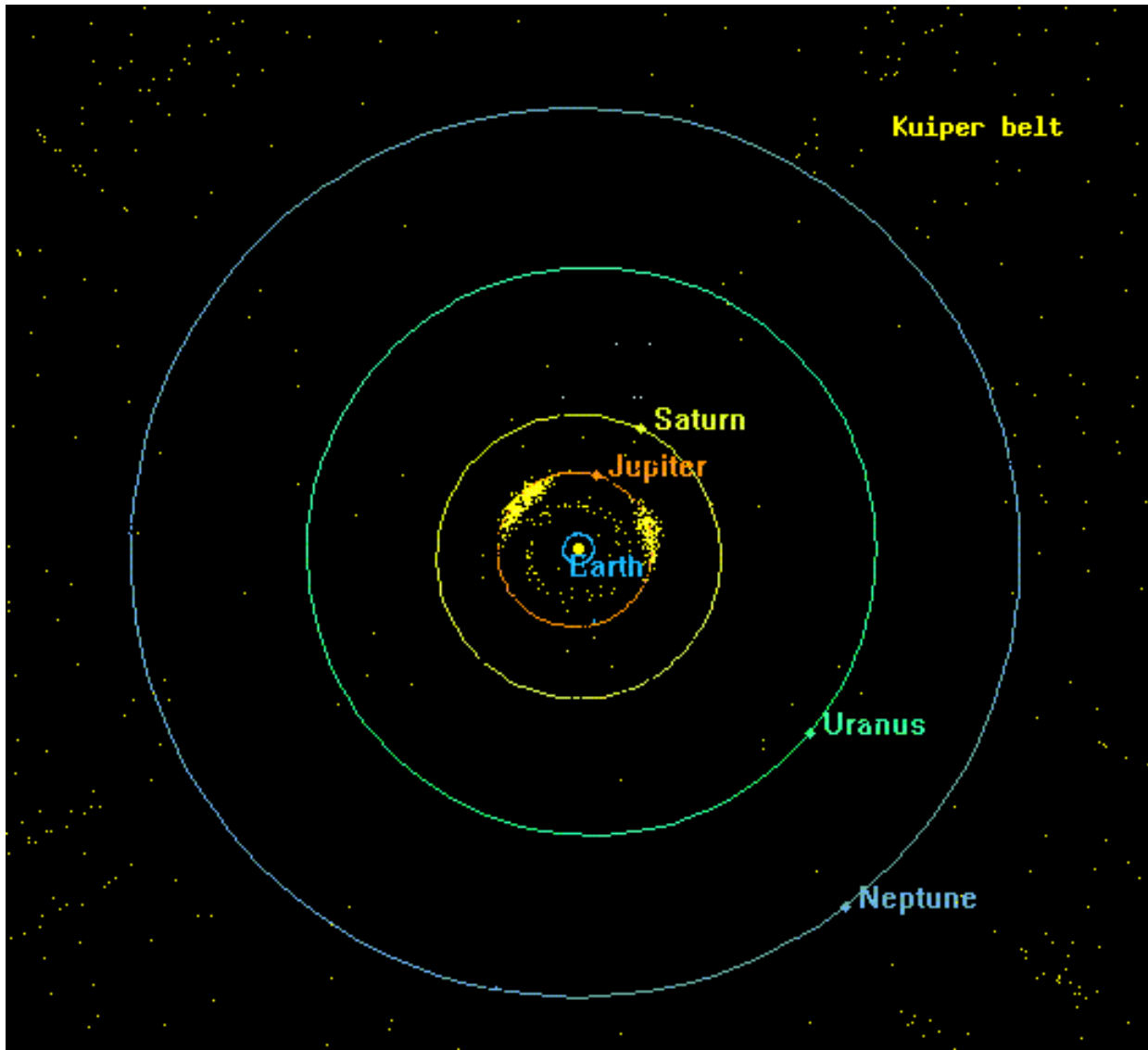
SRON National Institute for Space  
Research, Groningen

I. Physikalisches Institut der  
Universität zu Köln



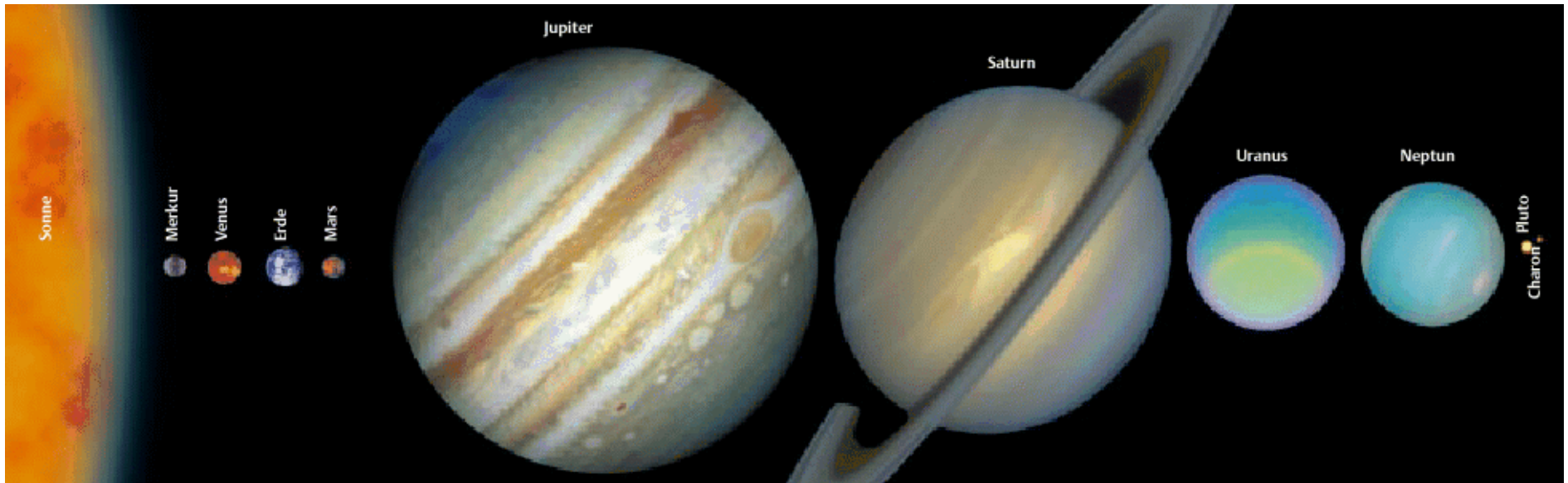
G. Buffon (1767)

# Was ist das Sonnensystem?



- 99% der Masse in der Sonne
- Planeten auf Ellipsenbahnen in einer Ebene
- 99% der Bewegungsenergie in den Planeten
- Kuiper-Gürtel bei 35-60 AE
- Kleinkörper bis ca. 1000 km (größtes Objekt: Pluto)

# Was ist das Sonnensystem?



SuW (1997)

- Sonne
- Gasplaneten
  - Hauptmasse der Planeten: Jupitermasse =  $1/1000$  Sonnenmasse
  - feste Kerne von 10 – 20 Erdmassen in allen Gasplaneten
- Gesteinsplaneten
  - geringe Massen: Erdmasse =  $1/300$  Jupitermasse
- Alter aller Bestandteile: 4.5 – 4.6 Mrd Jahre

# Wie können wir seine Entstehung erforschen?

- **Methode der klassischen Astronomie**

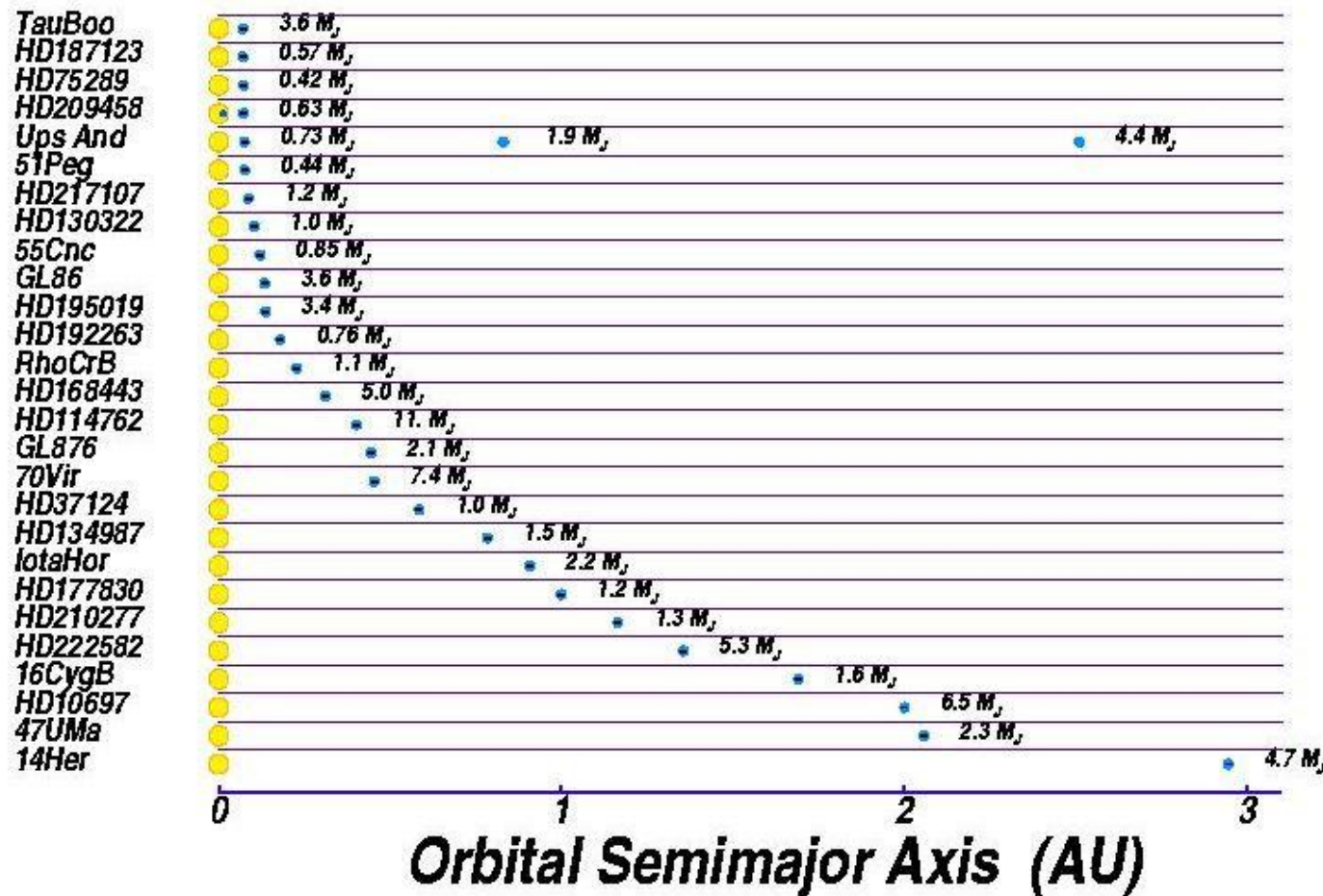
- Am Himmel gibt es Millionen ähnlicher Objekte. Also müsste es in jedem Stadium genug geben, um die Entwicklung zu verfolgen.

☞ **Beobachtung der Entstehung anderer “Sonnensysteme”**



# Extrasolare Planetensysteme

- **105 Planetensysteme entdeckt** (Stand 13.2.2004)



Bisher können wir nur Riesenplaneten auf engen Bahnen nachweisen (Marcy & Butler 2000).

**Alle beobachteten Systeme unterscheiden sich deutlich vom Sonnensystem.**

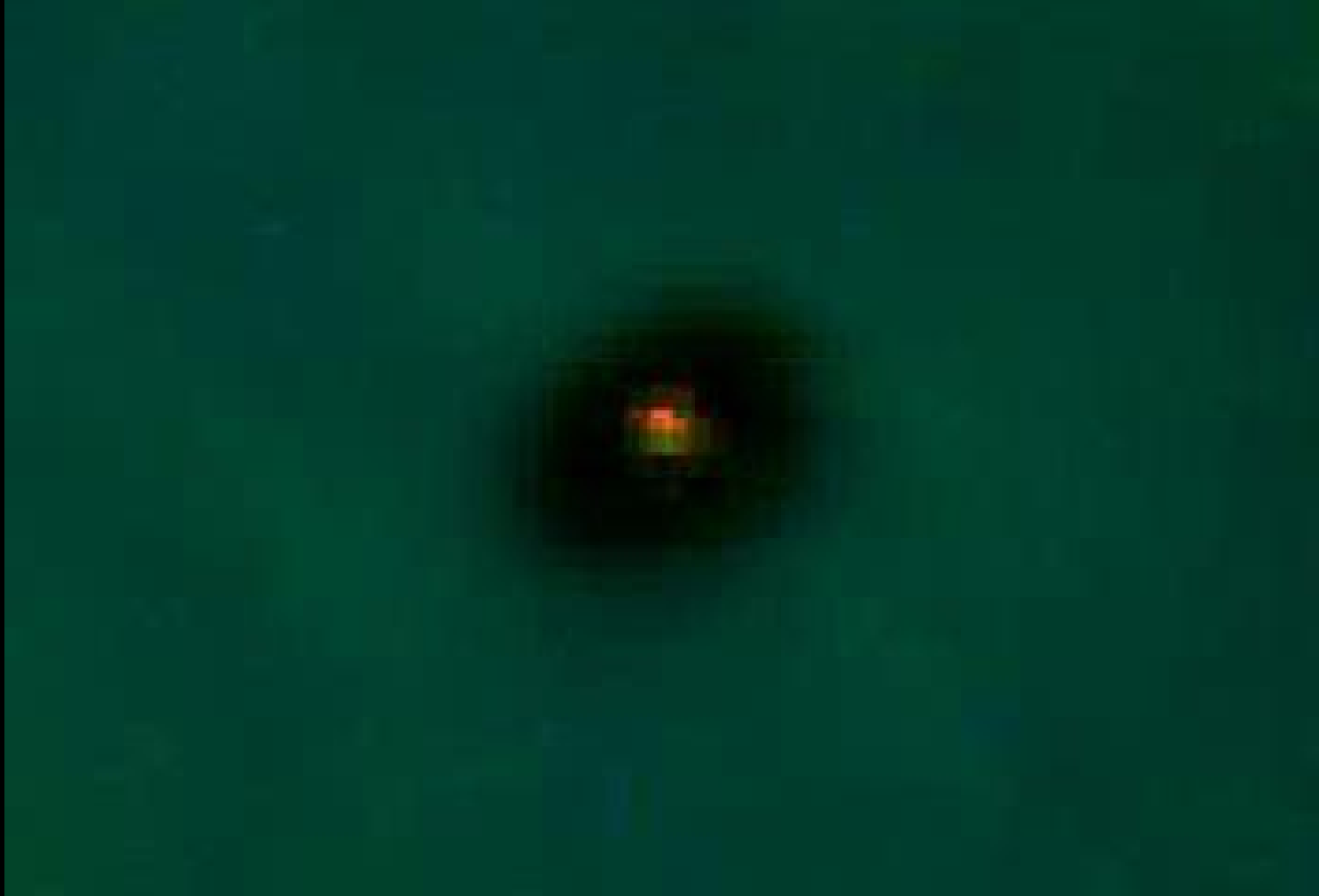








Space Telescope Science Institute (1995)

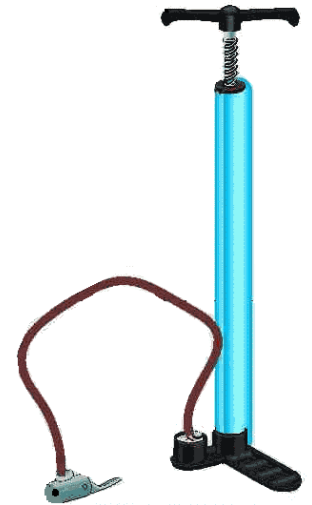


Space Telescope Science Institute (1995)

# Was passiert in den Gas und Staubwolken?

- Durch die Schwerkraft ziehen sich Gas und Staubteilchen gegenseitig an.
- Die Wolke stürzt unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammen.

- Gas was immer weiter zusammengedrückt wird, heizt sich auf.
- Der Protostern beginnt zu glühen.



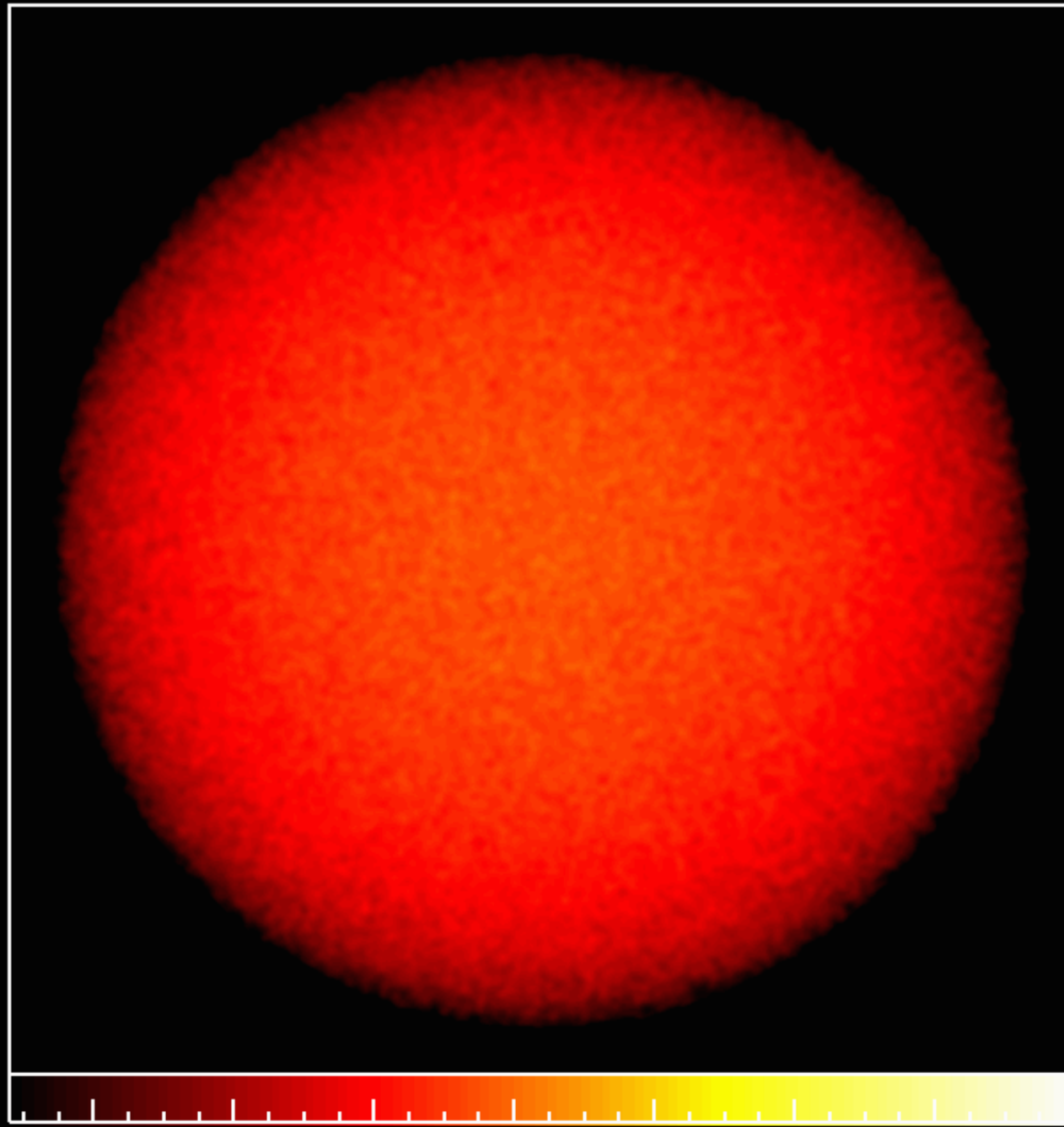
- Wenn das Gas heiß genug ist, zündet im Inneren die Kernfusion

☞ **Geburt einer neuen Sonne.**



Dimensions: 82500. AU

Time: 0. yr



-1.4

-1.2

-1.0

-0.8

-0.6

-0.4

-0.2

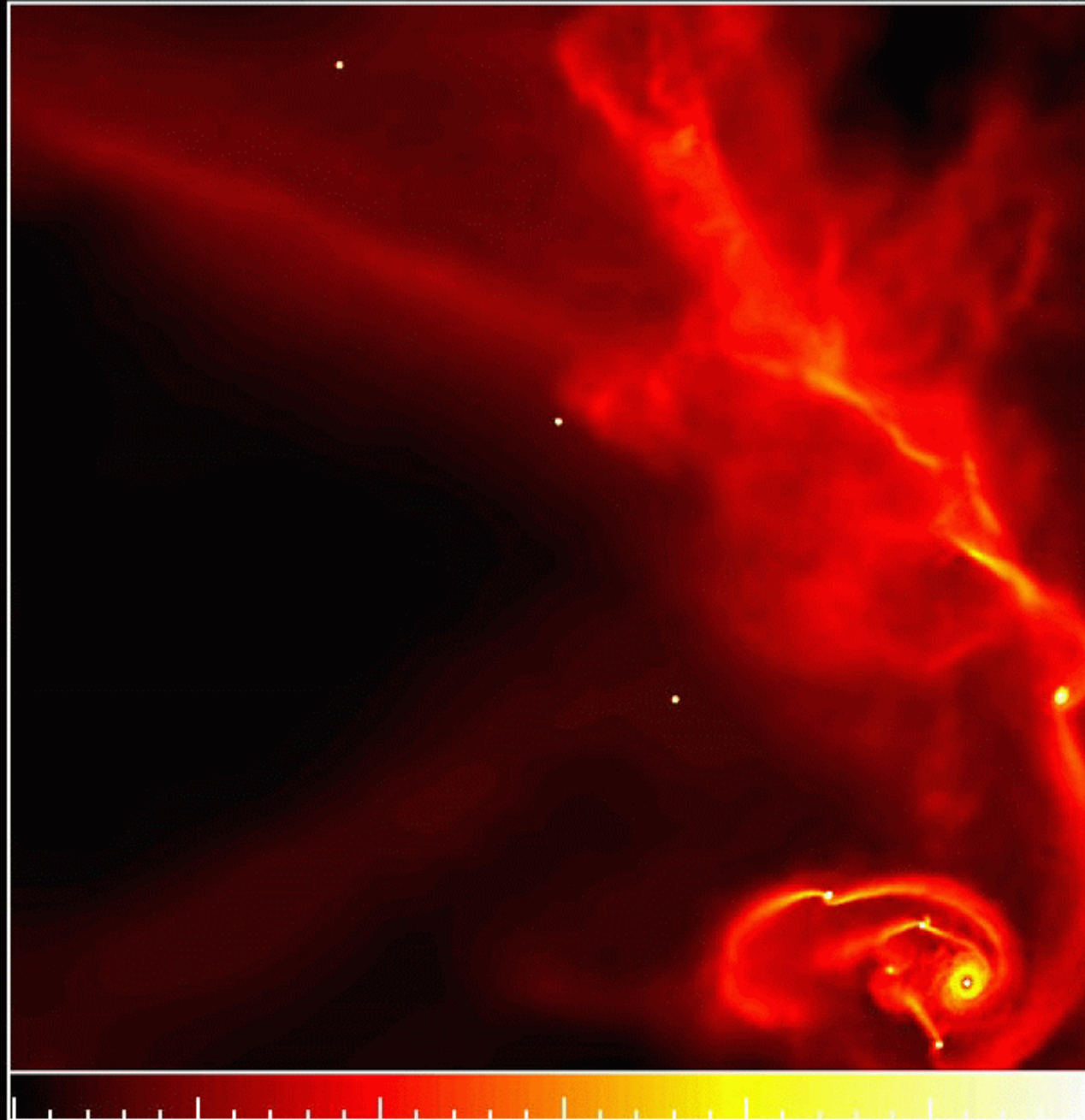
0.0

Log Column Density [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ]

Matthew Bate

Dimensions: 5156. AU

Time: 244624. yr



-0.5

0.0

0.5

1.0

1.5

2.0

Log Column Density [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ]

Matthew Bate

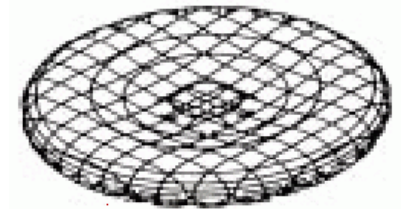
# Sterne entstehen in Scheiben

## Ursache:

☞ **Der Drehimpuls eines abgeschlossenen Systems ist konstant!**

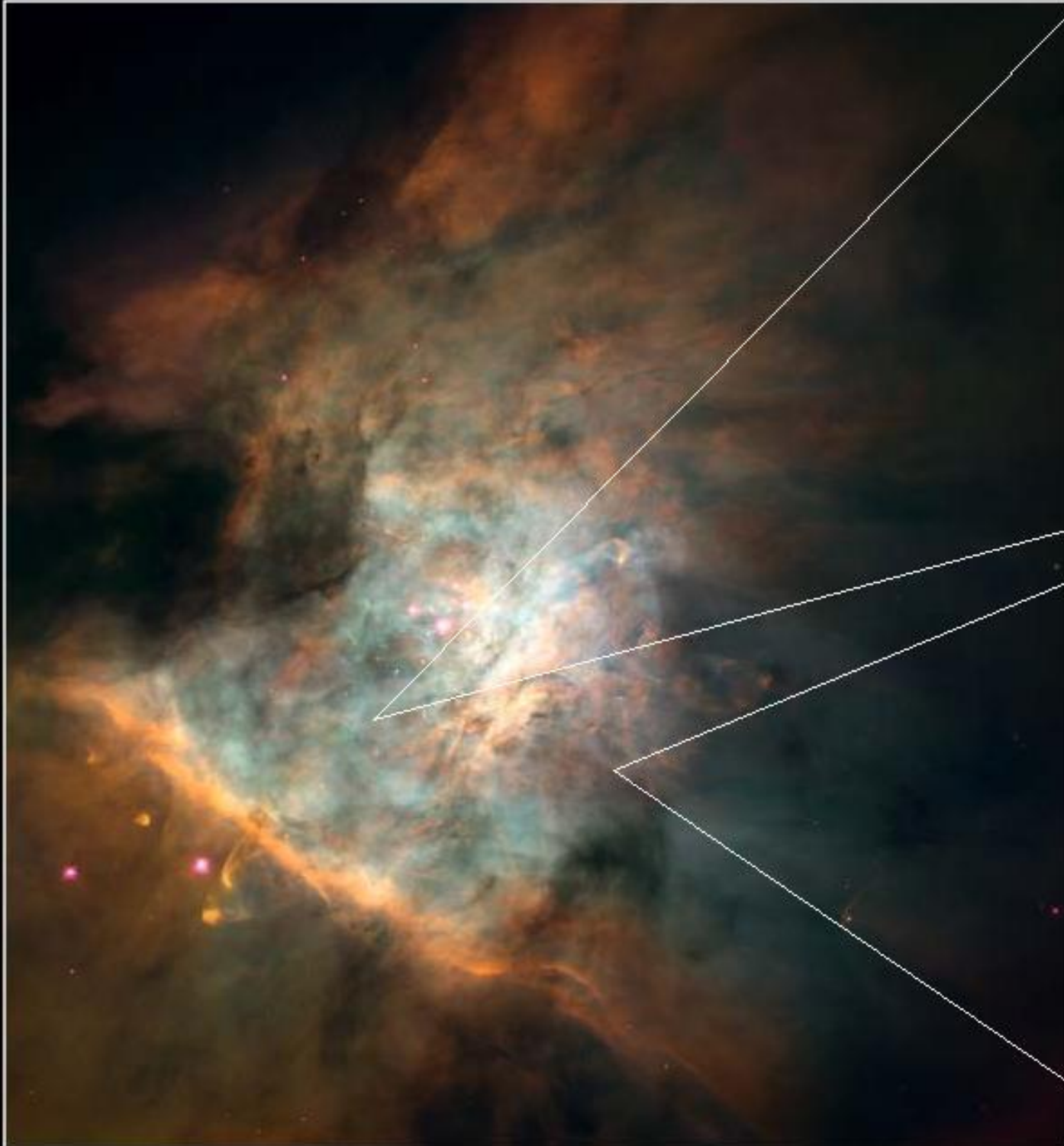


- Jede Scherbewegungen in einer protostellaren Wolke führen zu schneller Rotation beim Kollaps.
- Durch die Zentrifugalkraft entsteht eine abgeplattete Scheibe.

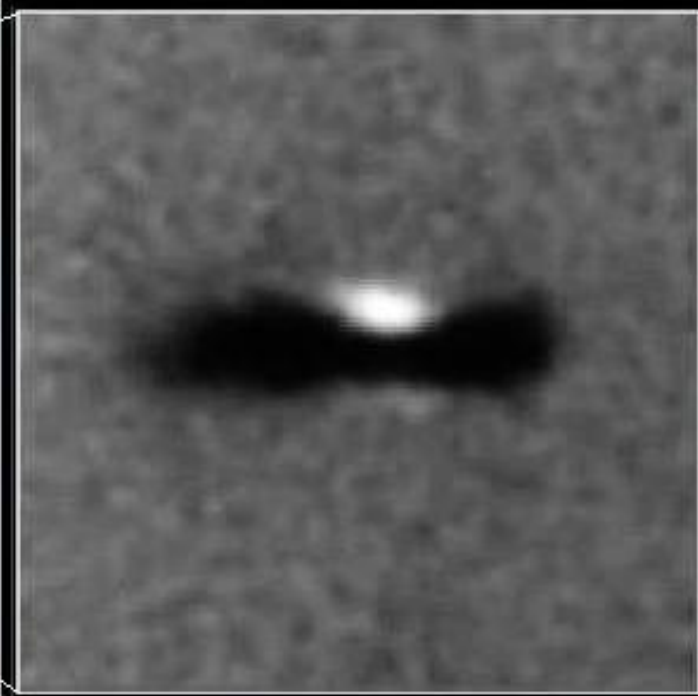
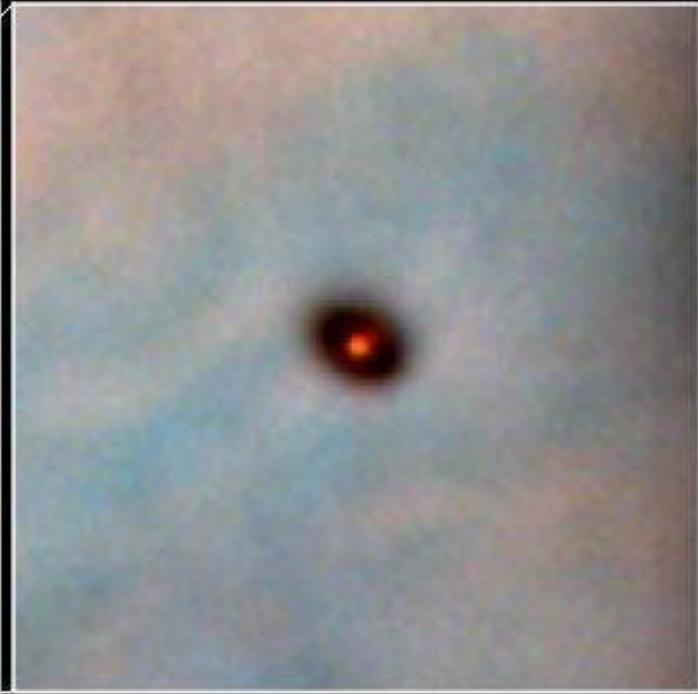


Sternentstehung erfolgt über eine rotierende, nach außen aufgeweitete Scheibe aus Gas und Staub.

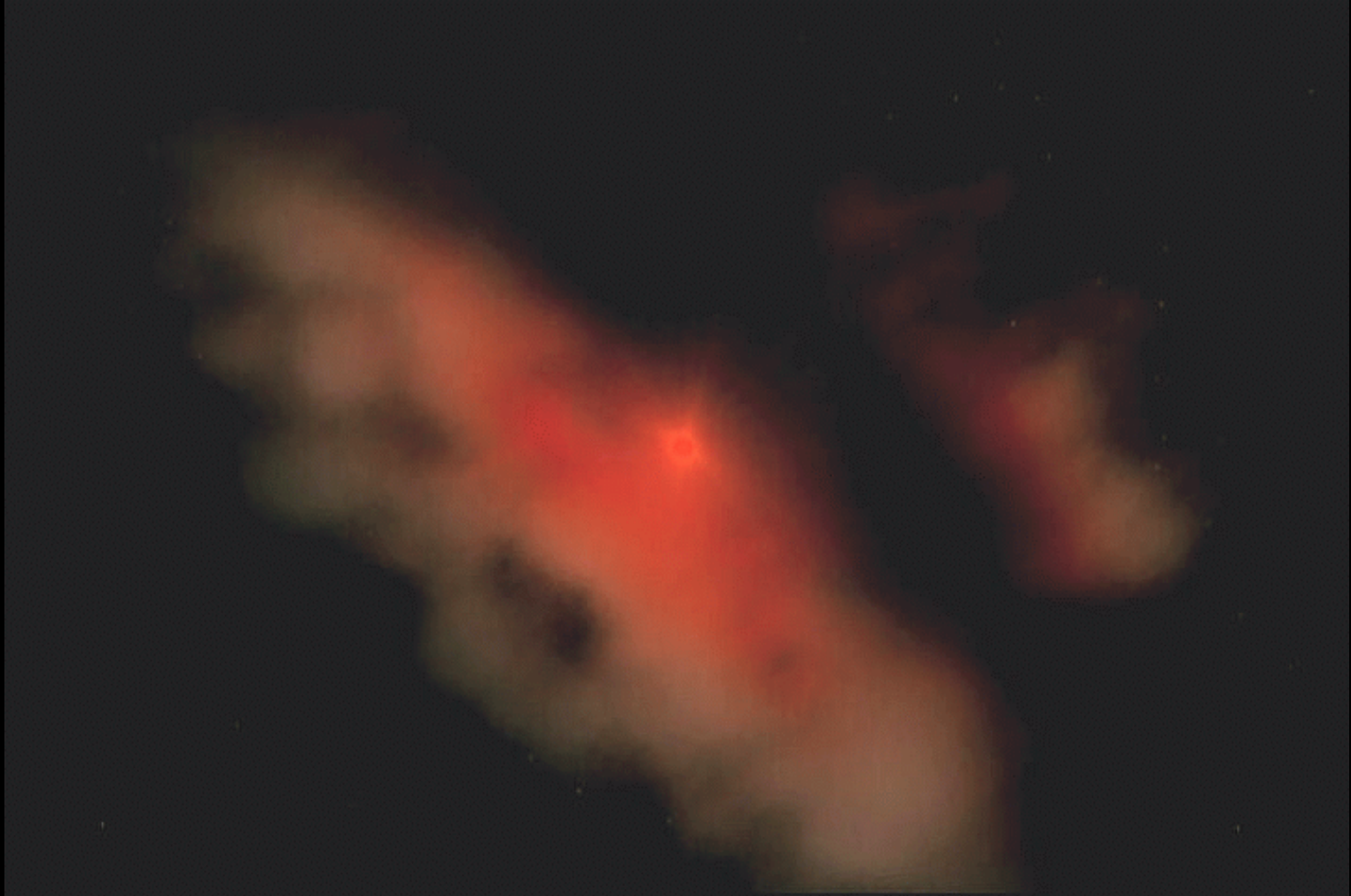
☞ **natürliche Voraussetzungen für Planetenentstehung**



**Orion Nebula Mosaic**



**Protoplanetary Disks  
Orion Nebula**

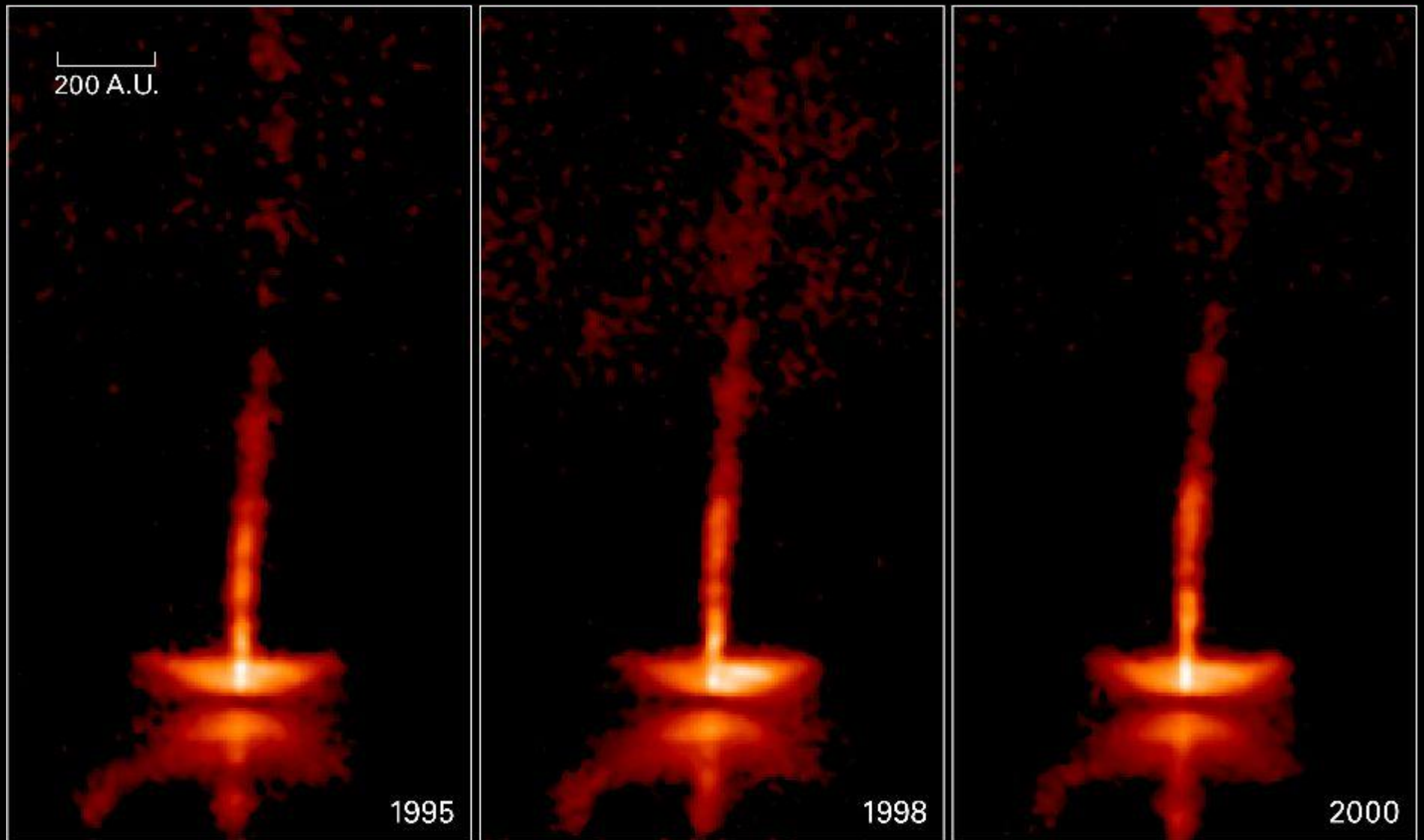


Space Telescope Science Institute (1999)



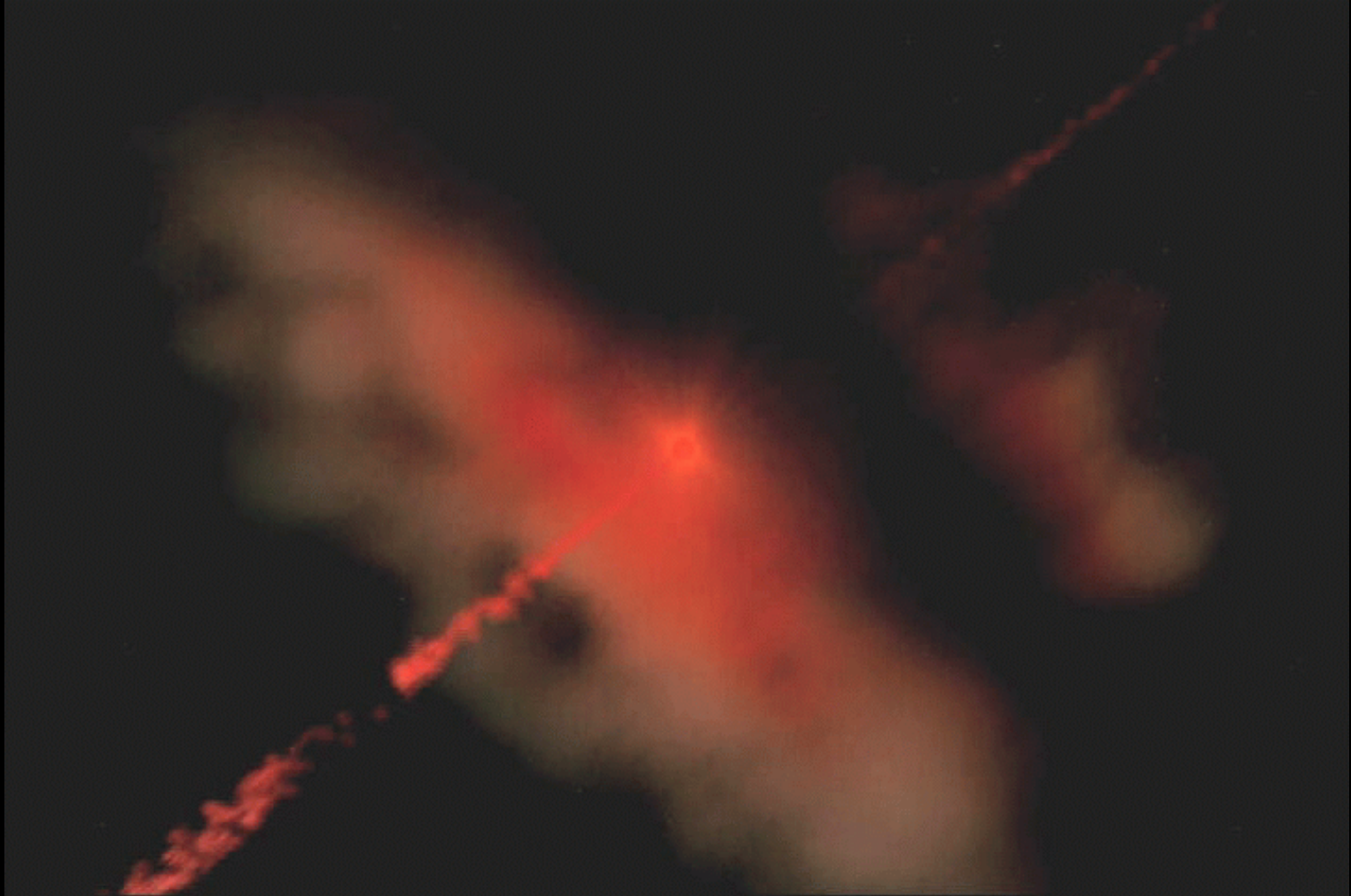


**Durch Magnetfeldeffekte wird im Zentrum der Scheibe etwas Material wieder herausgeschleudert.**



**The Dynamic HH 30 Disk and Jet**  
**Hubble Space Telescope • WFPC2**

NASA and A. Watson (Instituto de Astronomía, UNAM, Mexico) • STScI-PRC00-32b



Space Telescope Science Institute (1999)

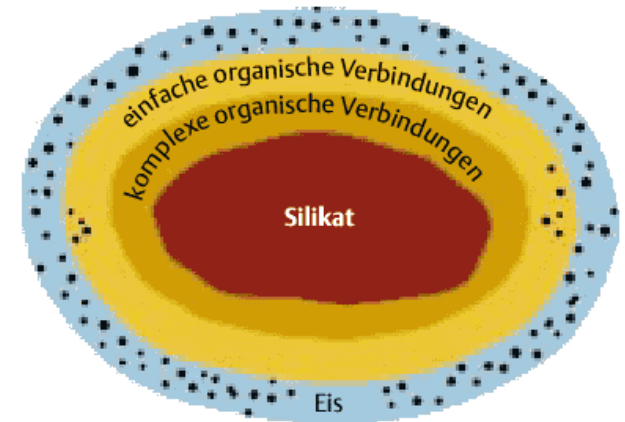


Space Telescope Science Institute (1999)

# Von Staub zu Planetesimalen in der Scheibe

## Ausgangspunkt – Interstellare Staubeilchen:

- typische Größe:  $0.1 \mu\text{m}$
- Silikat- und Kohlenstoffteilchen mit organischem Mantel und Eishülle
- Eismäntel überleben nur jenseits der “Schneegrenze” (ca. 5 AE)

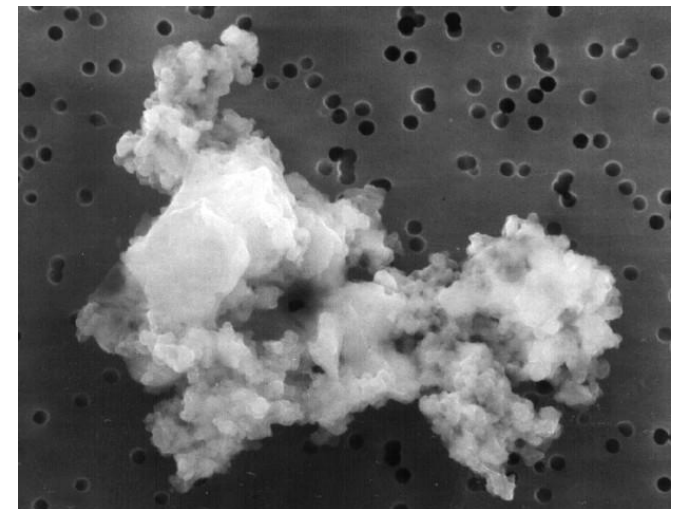


Greenberg (1996)



## Wachstum zu Planetesimalen:

- Aufeinanderprallen und Verkleben der Staubeilchen in Stößen durch turbulente Bewegungen
- Lockere Aggregate
- Wachstum in 3 Stufen:  $0.1 \mu\text{m}$  -  $0.1 \text{ mm}$ ,  $0.1 \text{ mm}$  -  $1 \text{ m}$ ,  $1 \text{ m}$  -  $10 \text{ km}$



Sandford & Walker (1985)

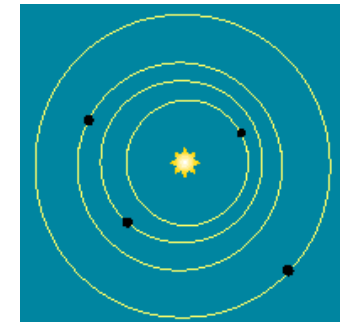
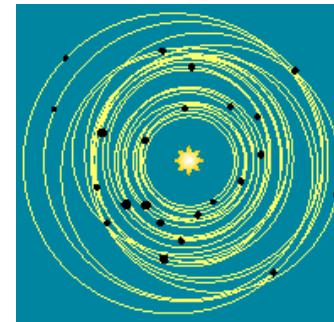
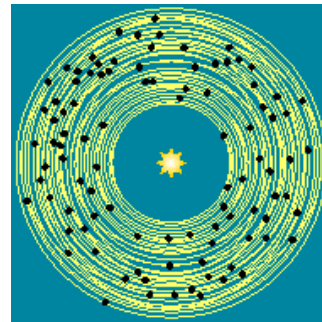
# Bildung von Gesteinsplaneten

Bei Größen zwischen 1 und 10 km fangen die Planetesimale an sich durch ihre Schwerkraft gegenseitig einzufangen.



Ida, Galileo-Aufnahme, NASA (1999)

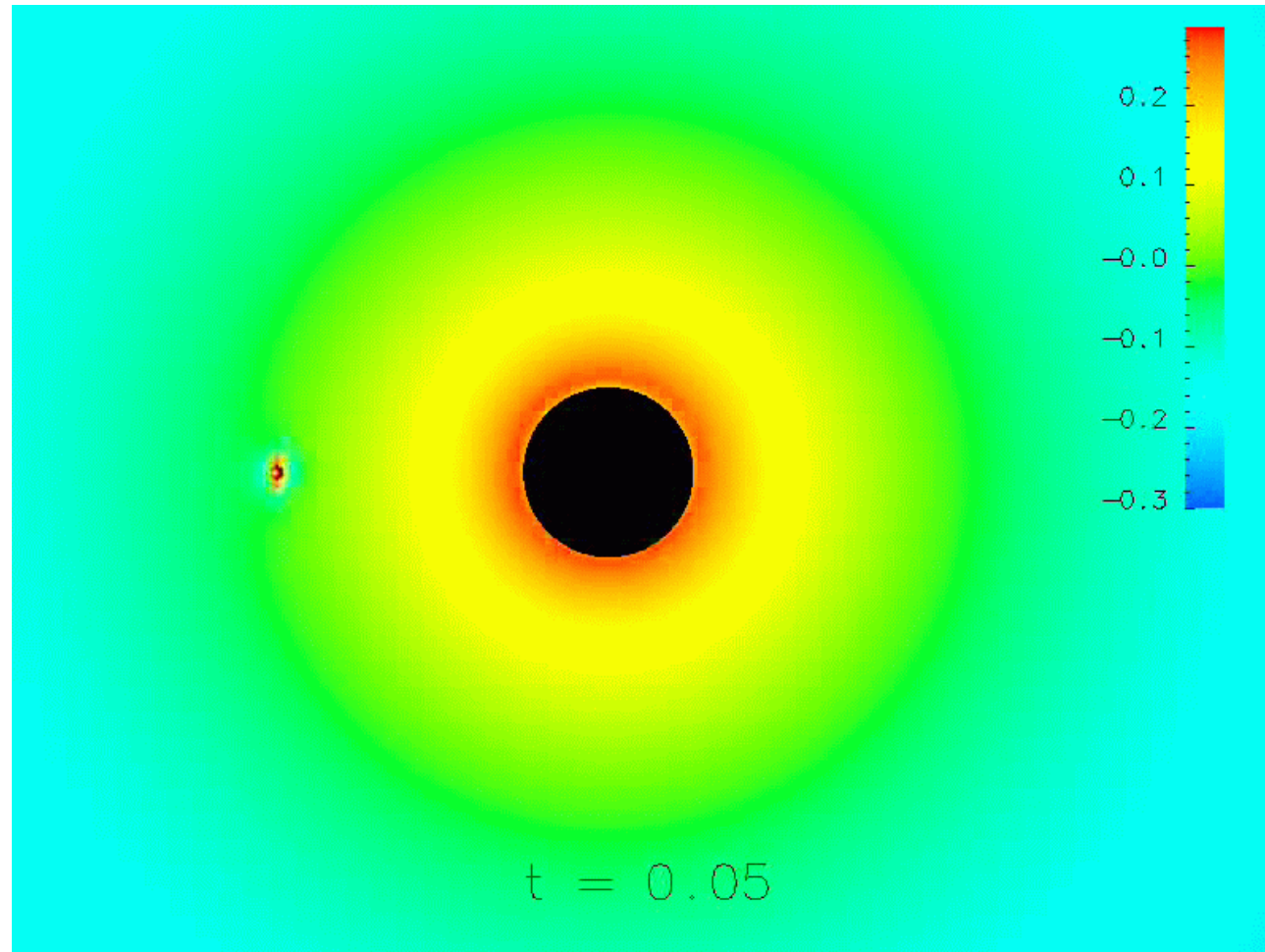
Vielteilchensimulationen:



- Aus  $10^{14}$  etwa km-großen Planetesimalen werden wenige Planeten.
- Schnelle Planetenentstehung nur jenseits der “Schneegrenze”.

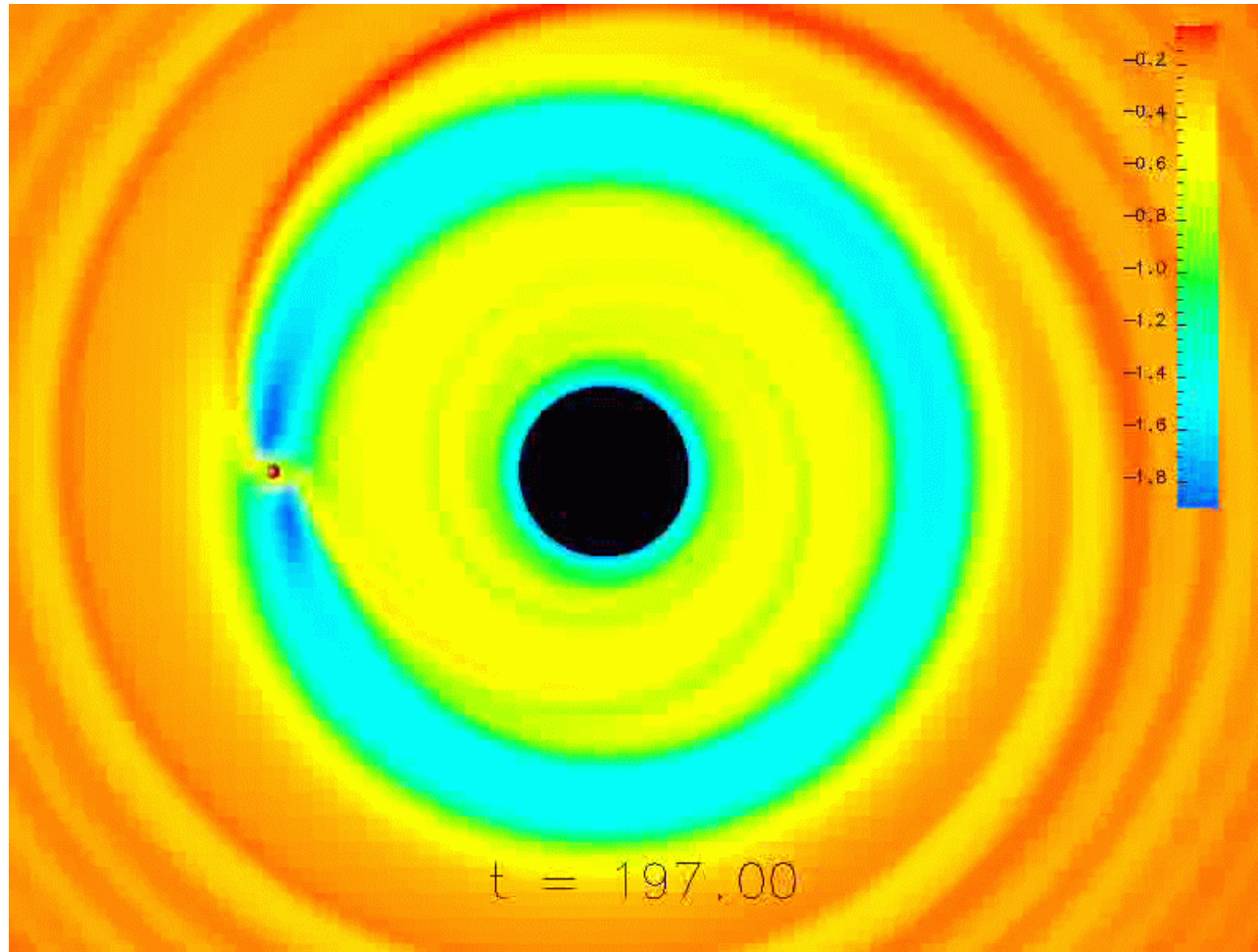
# Das Wachstum der Gasplaneten

Ab 10 Erdmassen kann ein Planet auch größere Mengen an Gas aus der proto-planetaren Scheibe aufsaugen.



# Das Wachstum der Gasplaneten

Ab 10 Erdmassen kann ein Planet auch größere Mengen an Gas aus der proto-planetaren Scheibe aufsaugen.



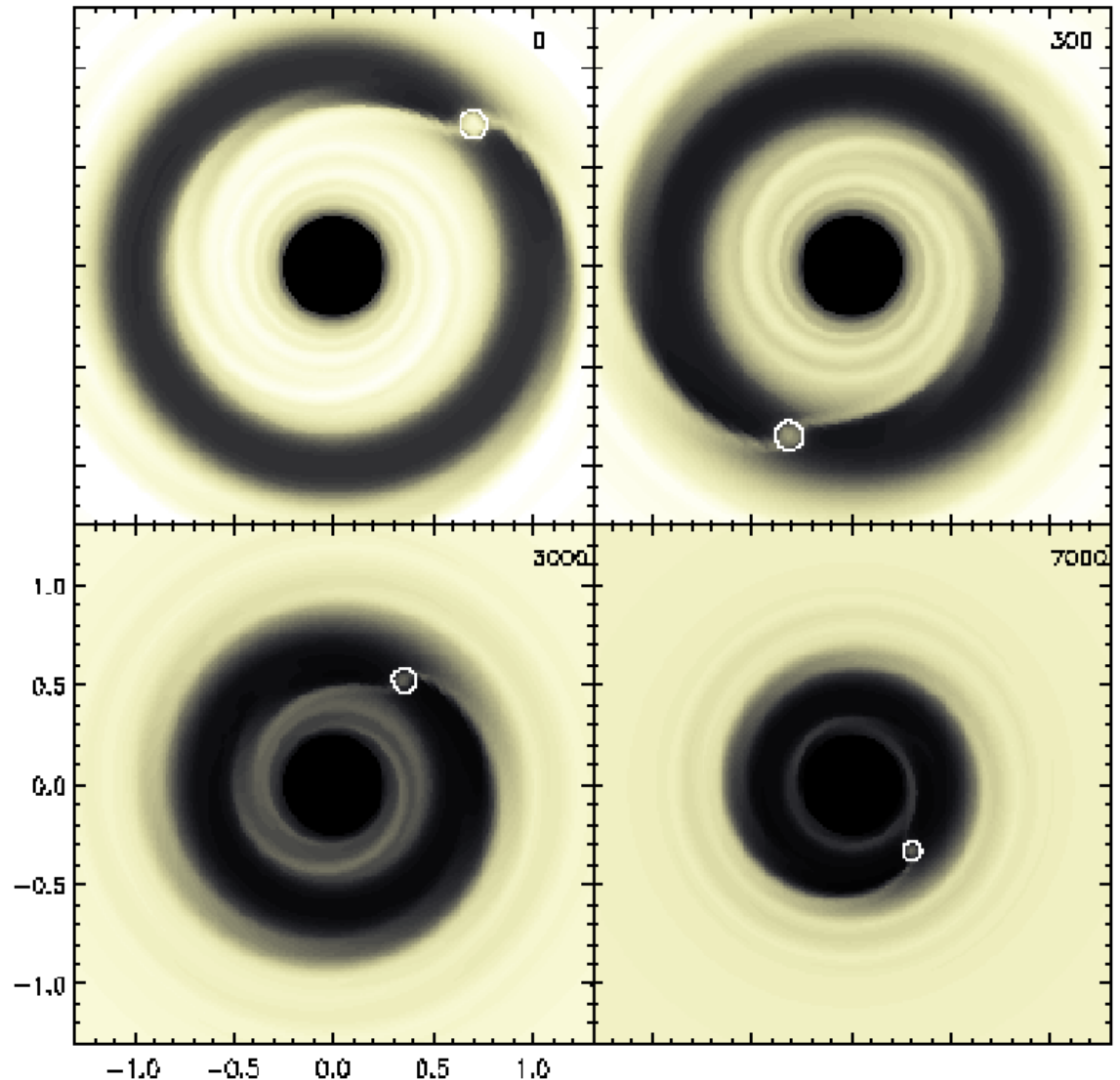
Es entsteht eine Lücke in der Scheibe (Kley 2000).



# Migration der Planeten

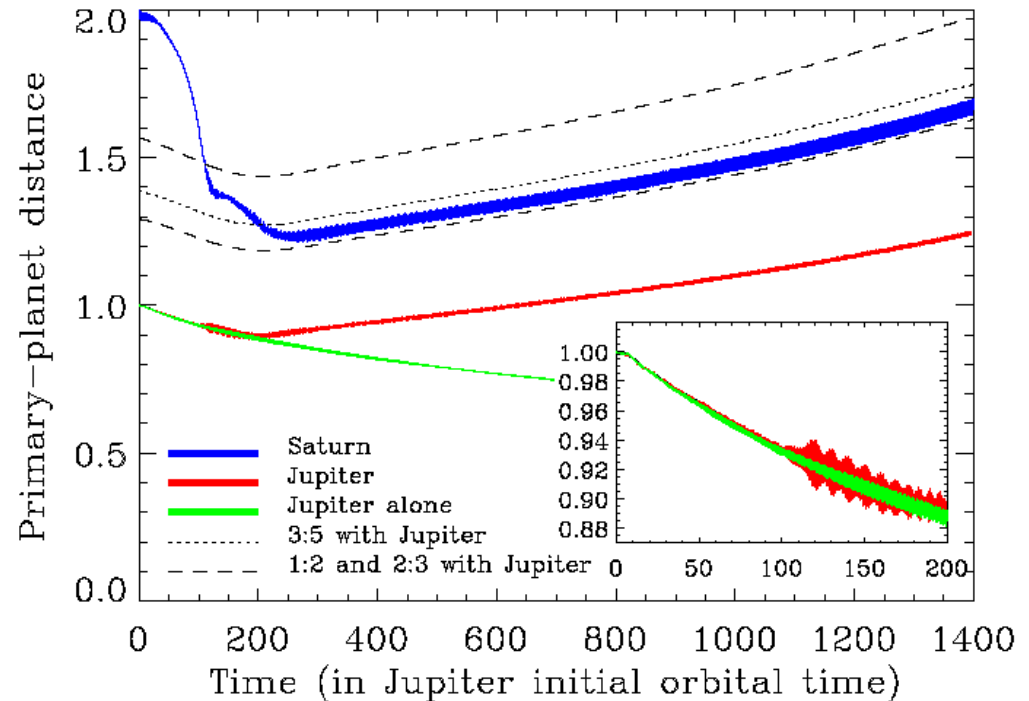
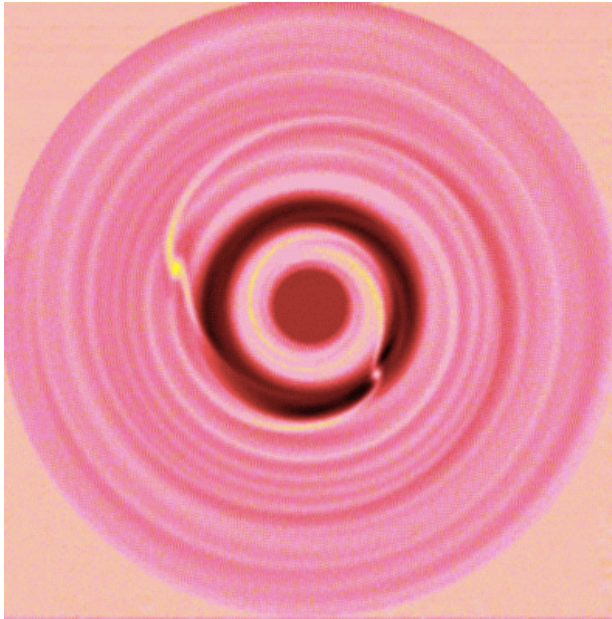
Die beobachteten extrasolaren heißen massereichen Planeten können nicht an ihrer jetzigen Position entstanden sein

Durch die Wechselwirkung zwischen dem Planet und dem umgebenden Gas driftet der Planet nach innen. (Nelson et al. 2000).



# Inverse Migration

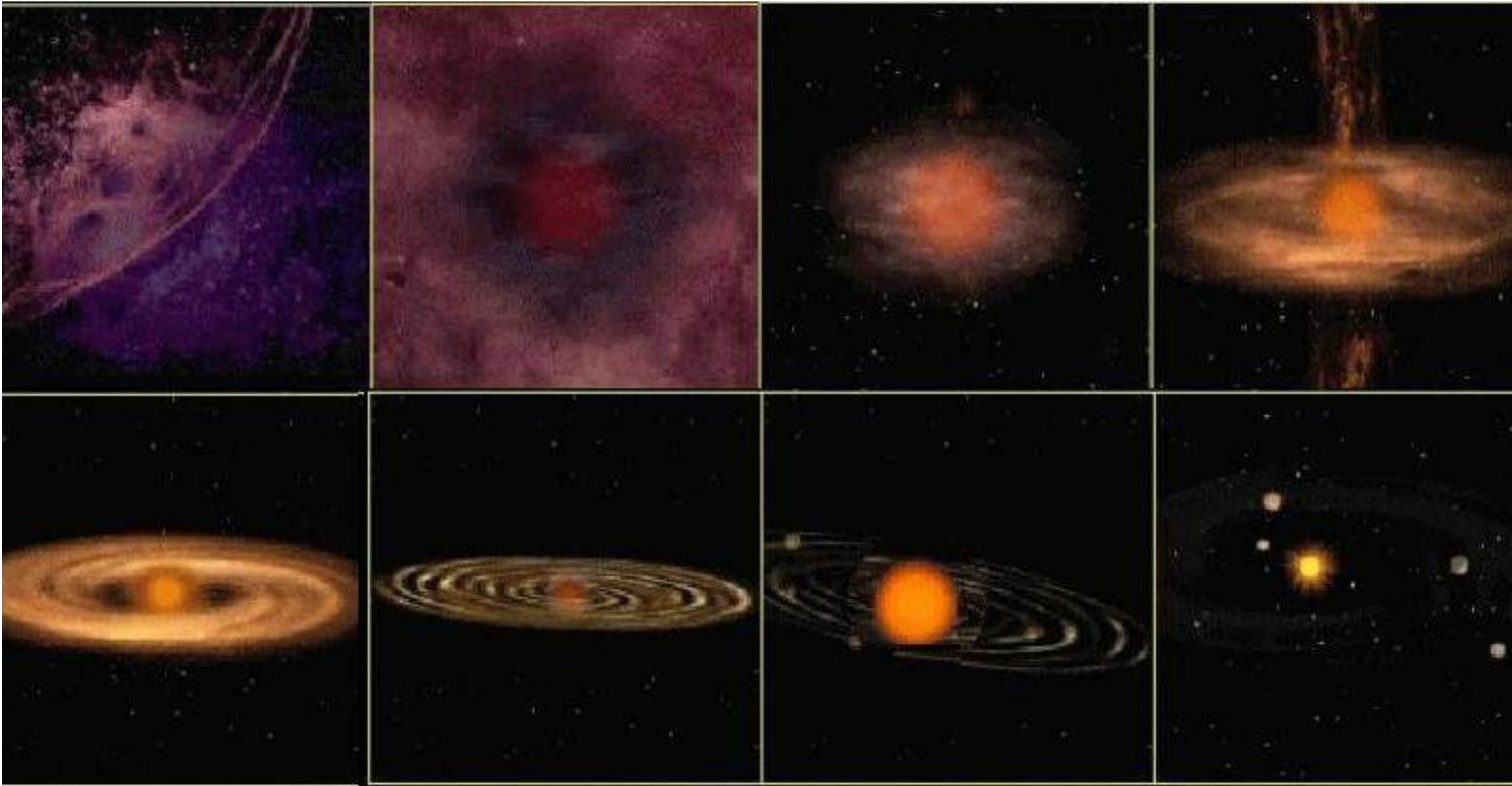
Warum sind unsere Gasplaneten keine "heißen Riesen" ?



Bei geeigneten Bahnen können sich zwei Planeten gegenseitig "festhalten" (Kley 2002).

Die Wechselwirkung von Jupiter und Saturn hat sie sogar nach außen driften lassen (Masset & Snellgrove 2001).

# Das aktuelle Bild der Sternentstehung



H. Joss (1999)

- Kollaps interstellarer Wolken
- Bildung einer Scheibe
- Zentraler bipolarer Ausfluss
- Staubverklumpung zu Planeten

# Was wissen wir nun ?

- **Sternentstehung läuft im Weltall ständig ab.**
- Dabei werden immer neue "Sonnensysteme" geboren.
- Dies erlaubt uns in unsere eigene Vergangenheit zu "sehen".
  
- **Planetenentstehung ist unter verschiedensten Bedingungen möglich.**
- Jeder zweite Einzelstern könnte von Planeten umgeben sein.
- Systeme mit engen Riesen sind wesentlich wahrscheinlicher als das Sonnensystem.
  
- **Es habe sehr viele "glückliche Umstände" zusammengespielt, um unser komfortables Sonnensystem zu schaffen.**