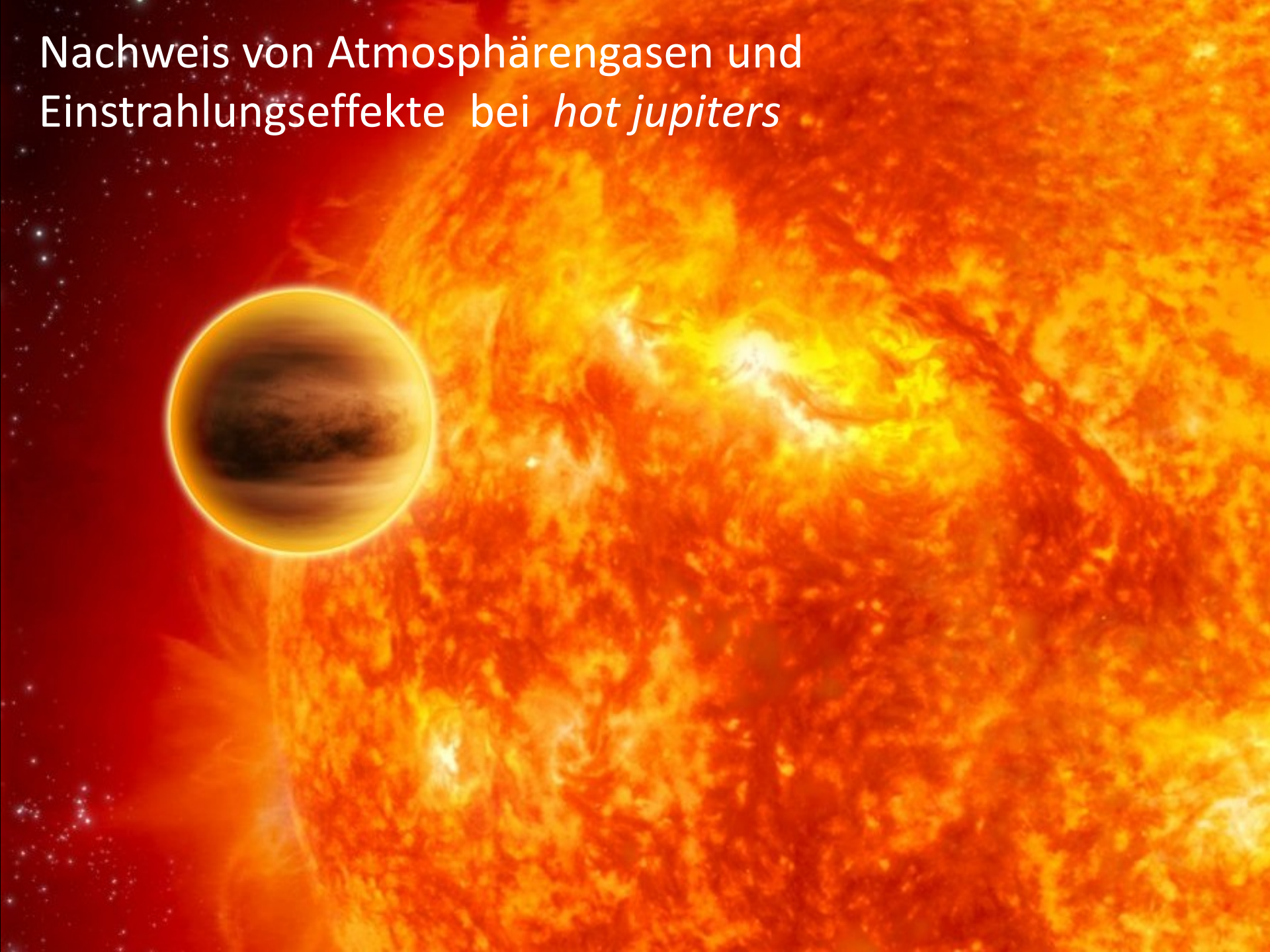


Nachweis von Atmosphärengasen und Einstrahlungseffekte bei *hot jupiters*

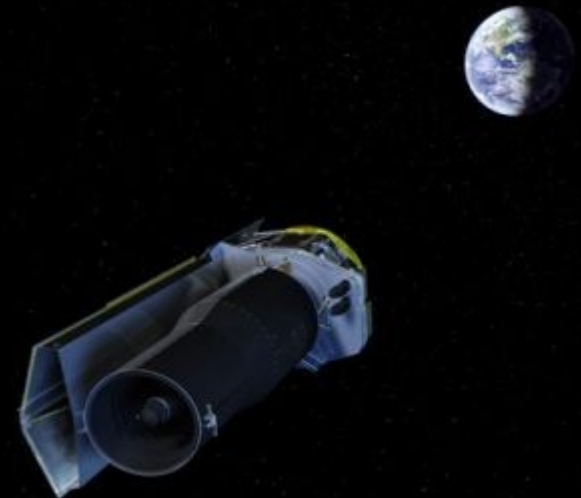
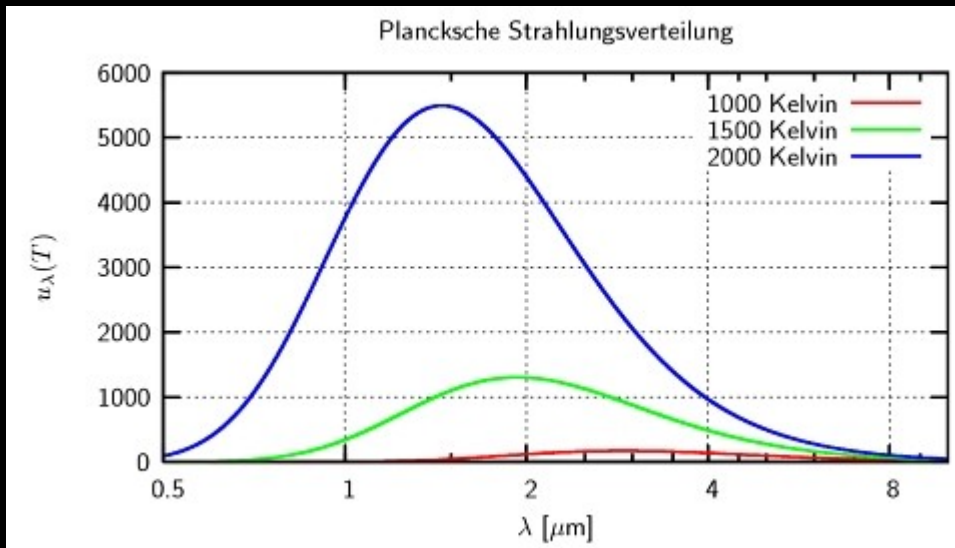


Wie kann man etwas über die Temperaturverteilung und die chemische Zusammensetzung der Atmosphären von Exoplaneten erfahren?

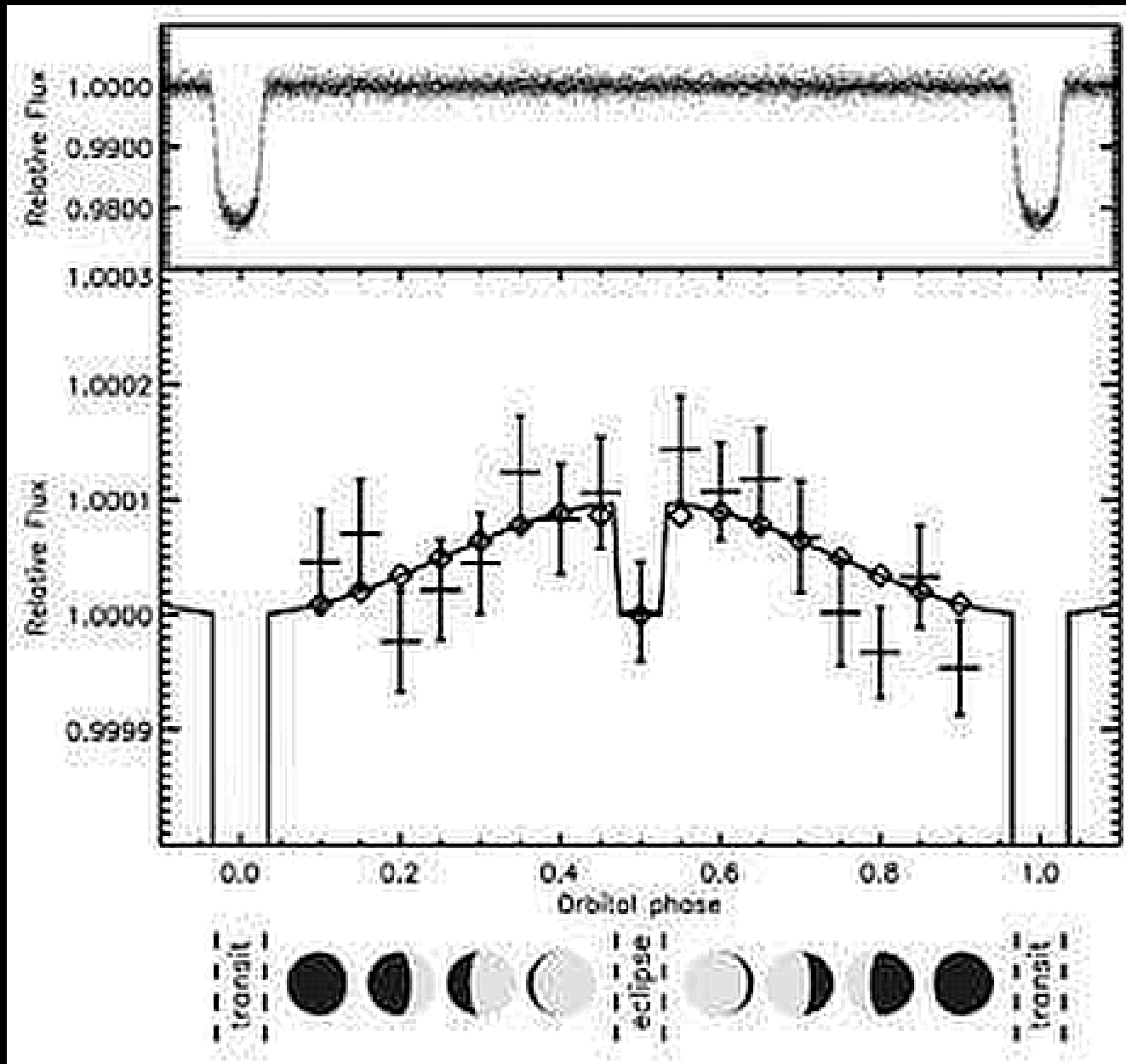
Die effektive Temperatur eines Exoplaneten lässt sich über dessen Spektrum ermitteln. Nur leider lassen sich Exoplaneten i.d.R. nicht räumlich auflösen und spektroskopieren...

Man kann aber „Stichproben“ bei bestimmten Wellenlängen erhalten, in dem man versucht, den Phaseneffekt bei Transits auszunutzen, um aus dem Differenzsignal Exoplanet - Stern die Helligkeit des Planeten bei der entsprechenden Wellenlänge zu bestimmen.

Die Beobachtungen werden im IR ausgeführt, wo die Helligkeit des Stern gering und die Helligkeit des Exoplaneten hoch ist → Infrarot-Spektralphotometrie.



Auswirkungen des Phaseneffekts auf die Transitlichtkurve

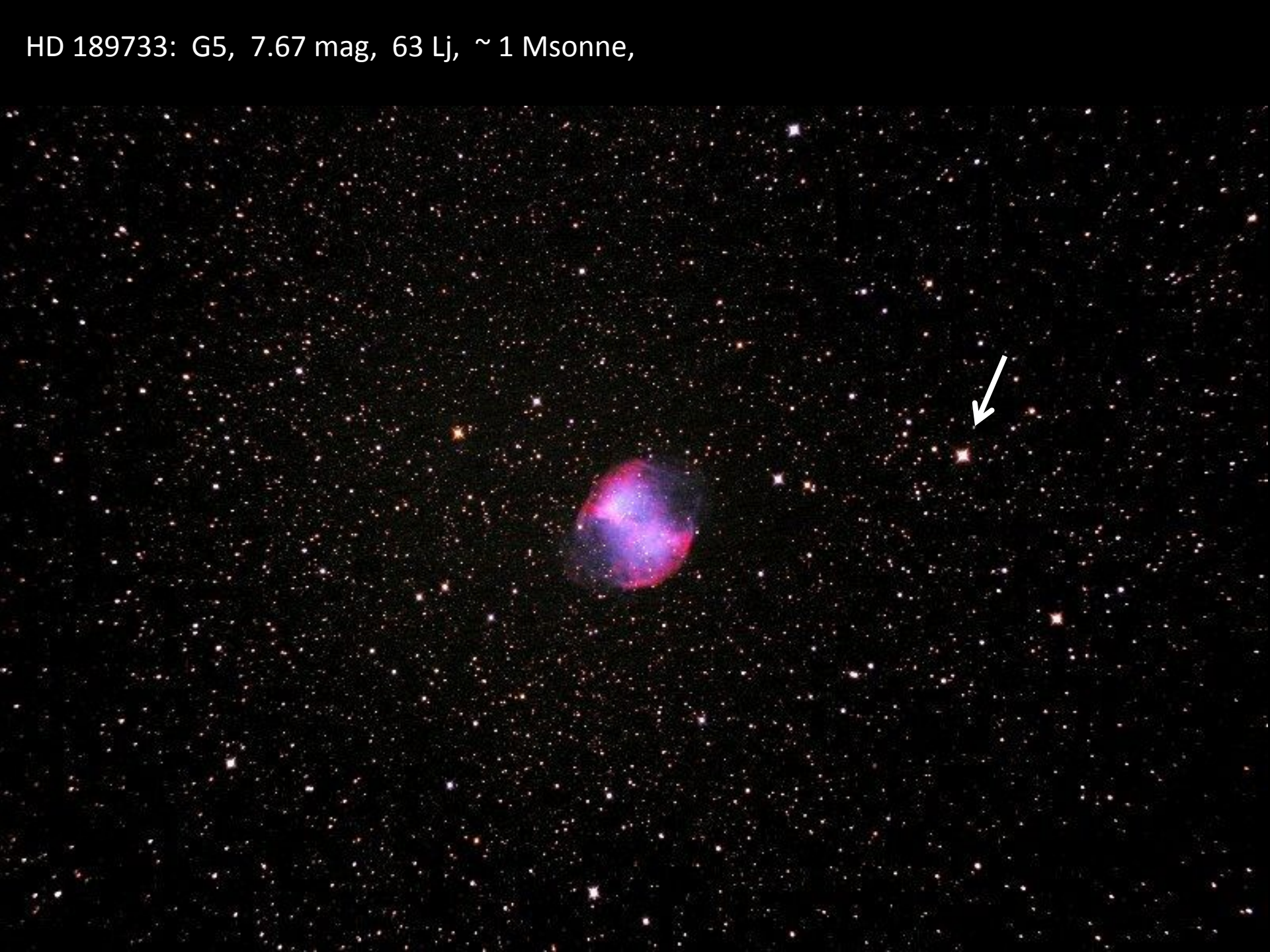


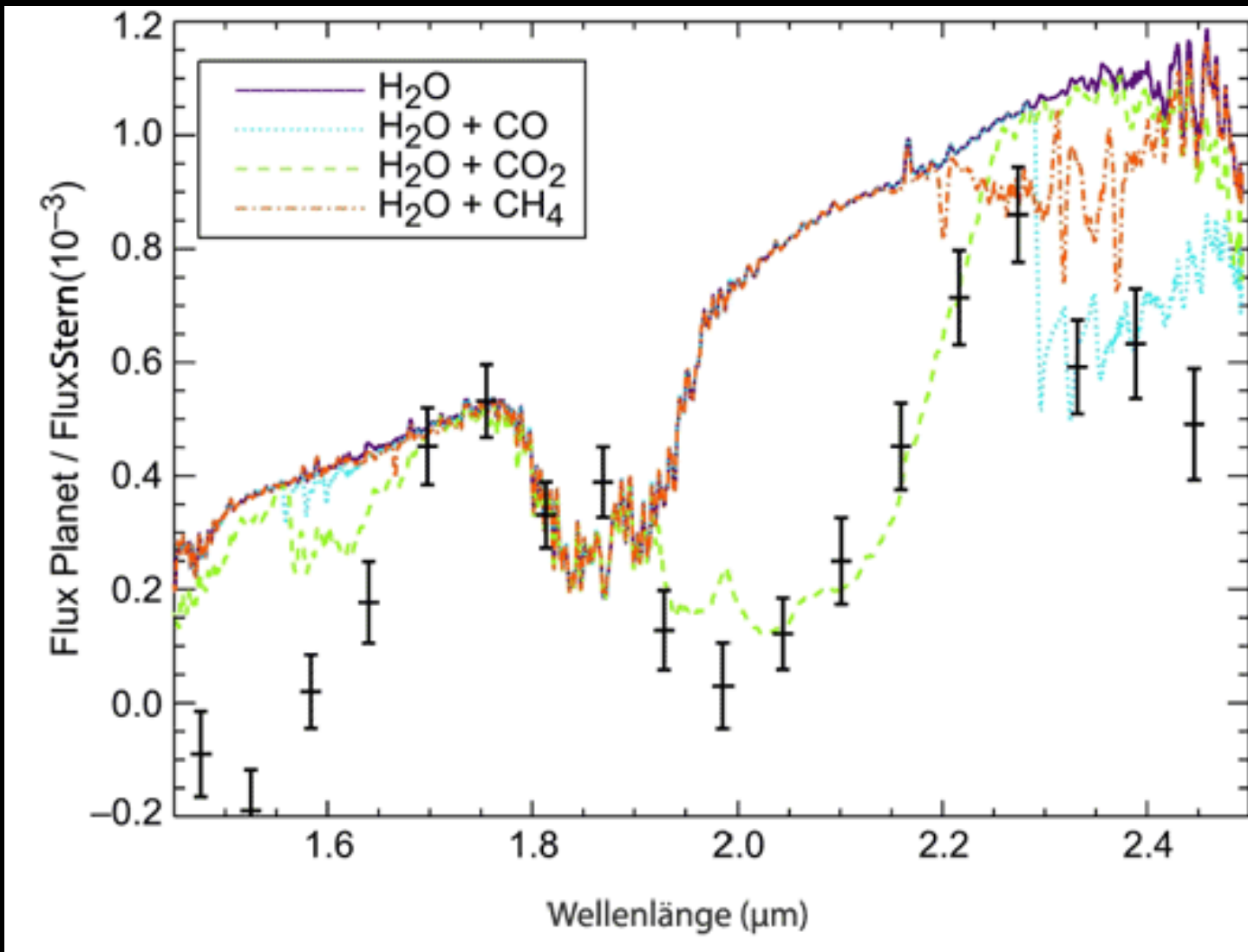
Derartige Lichtkurven werden bei bestimmten IR-Wellenlängen aufgenommen

Daraus lässt sich die Intensität des vom Exoplaneten emittierten Lichts bei den entsprechenden Wellenlängen bestimmen

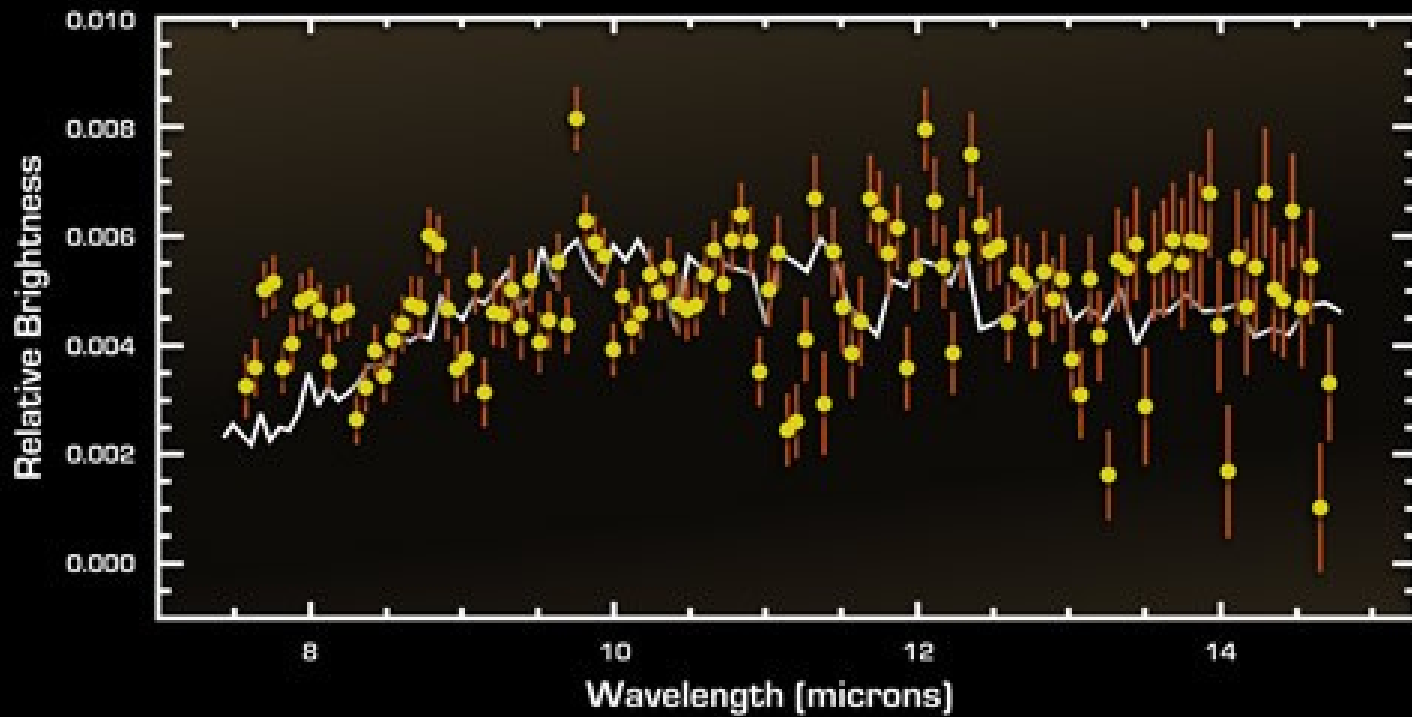
Im Primärminimum ist nur das Licht des Sterns, nahe dem Sekundärminimums das von Stern und Planet zu sehen

HD 189733: G5, 7.67 mag, 63 Lj, ~ 1 Msonne,





Das nahinfrarote Spektrum des Exoplaneten HD 189733b, wie es mit Hubbles NICMOS bestimmt werden konnte (schwarze Symbole) — und dazu ein Modellspektrum mit vier Molekülen.

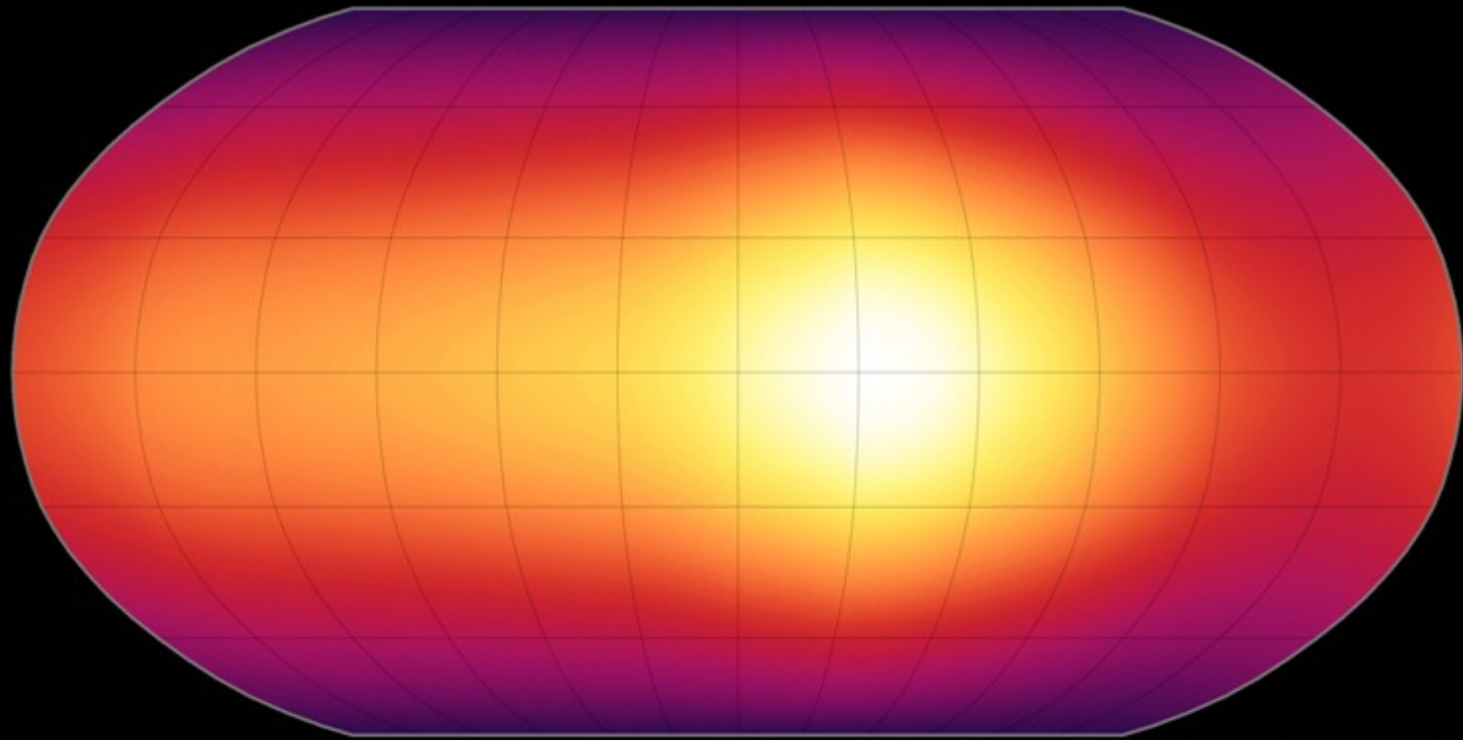


Infrared Spectrum of HD 189733b
NASA / JPL-Caltech / C. J. Grillmair (SSC/Caltech)

Spitzer Space Telescope • IRS
ssc2007-04c

Man beobachtet in vielen, eng aneinander liegenden IR-Kanälen Transits, leitet daraus den jeweiligen Strahlungsfluß des Exoplaneten ab und vergleicht das erhaltene Spektrum mit synthetischen Spektren.

Globale Temperaturkarte von HD 189733b



↑
Sun-Facing Longitude
(Grid Spacing: 30°)

Grundannahme: gebundene Rotation
Minimum: 650 °C Maximum: 930 °C

250000 Meßwerte vom
Spitzer-Teleskop

Einstrahlungseffekte auf die Atmosphären heißer Jupiter

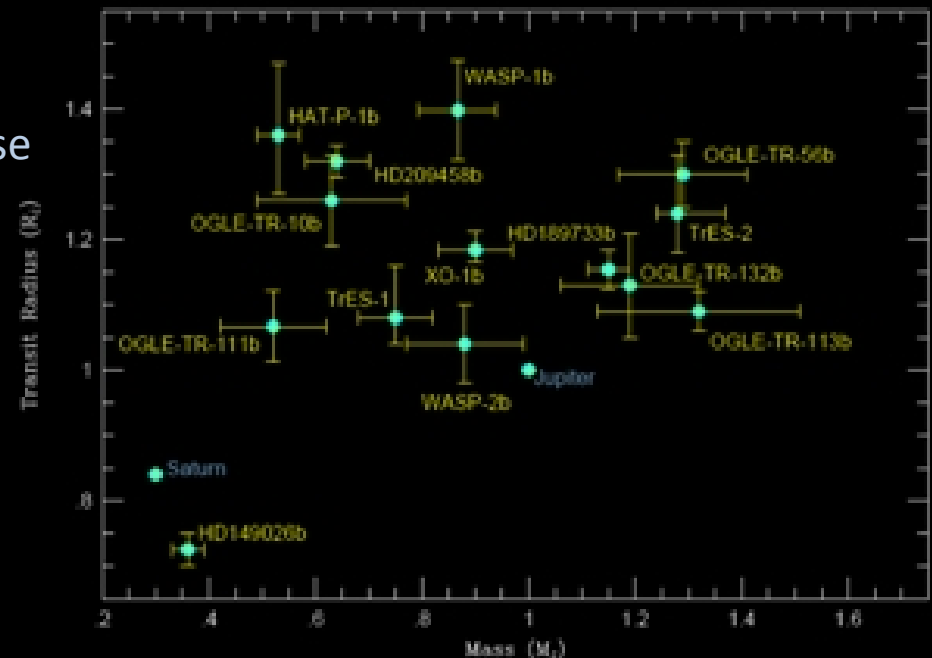
Wenn Gasplaneten in den Innenbereich eines Planetensystems migrieren und dabei ihren Mutterstern sehr nahe kommen, entstehen „hot jupiters“.

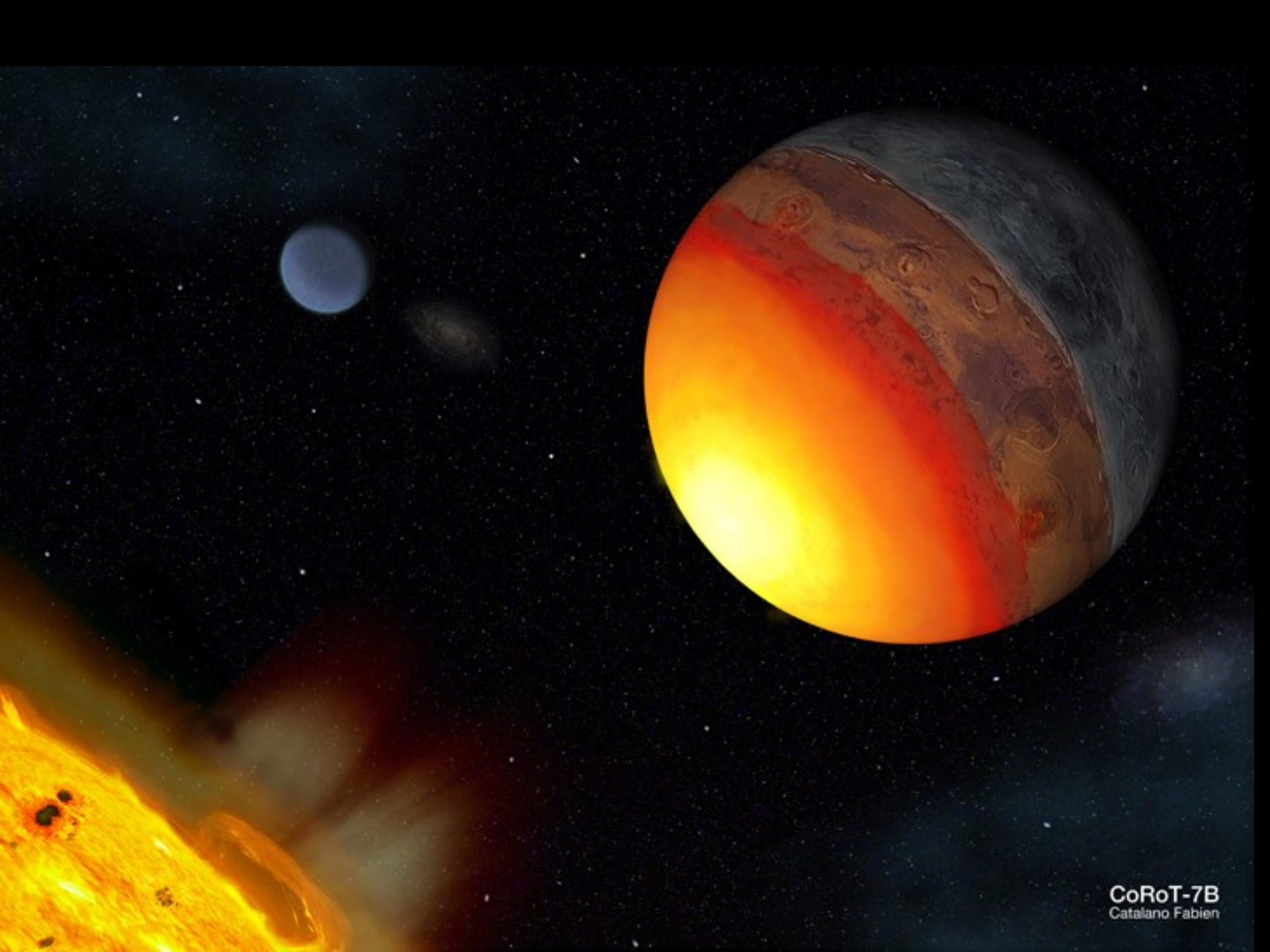
Aus himmelsmechanischen Gründen sollten alle „hot jupiters“ eine gebundene Rotation ausführen, d.h. eine Seite ist immer zum Stern gerichtet und kann sich deshalb stark aufheizen.

Man erwartet deshalb starke Unterschiede zwischen der Tag- und Nachtseite, die durch zonale Winde nur unvollständig ausgeglichen werden können.

Tagseitentemperatur > 1000 K

Durch die starke Aufheizung bläht sich die Atmosphäre auf, so daß sie bei gleicher Masse in der Tendenz einen größeren Durchmesser besitzen. Das erleichtert das „Abdampfen“ von Material in den freien Weltraum.





CoRoT-7B
Catalano Fabien

Masseverlust durch Abdampfung, Jeans-Escape und hydrodynamisches *blow off*

Durch die Aufheizung der Tagseite eines „*hot jupiters*“ verbessern sich die Bedingungen für einen Masseverlust über die Atmosphäre

- Thermischer Verlust (Maxwell-Verteilung, Entweichgeschwindigkeit -> **Jeans Escape**)
- Verlust durch nichtthermische Prozesse (Erosion der Atmosphäre durch Sternwinde)
- Hydrodynamisches *blow off*

Beispiel: HD 209458 b „Osiris“

Umkreist seinen Mutterstern (ungefähr ein Sonnenzwilling) in einer Entfernung von $\sim 1/8$ der Merkurbahn. Aufheizung Tagseite > 1100 K - Ausbildung einer ellipsoiden Wasserstoff-Korona ($T \sim 10000$ K) – Masseverlust liegt bei 100 bis 500 Millionen kg pro Sekunde !

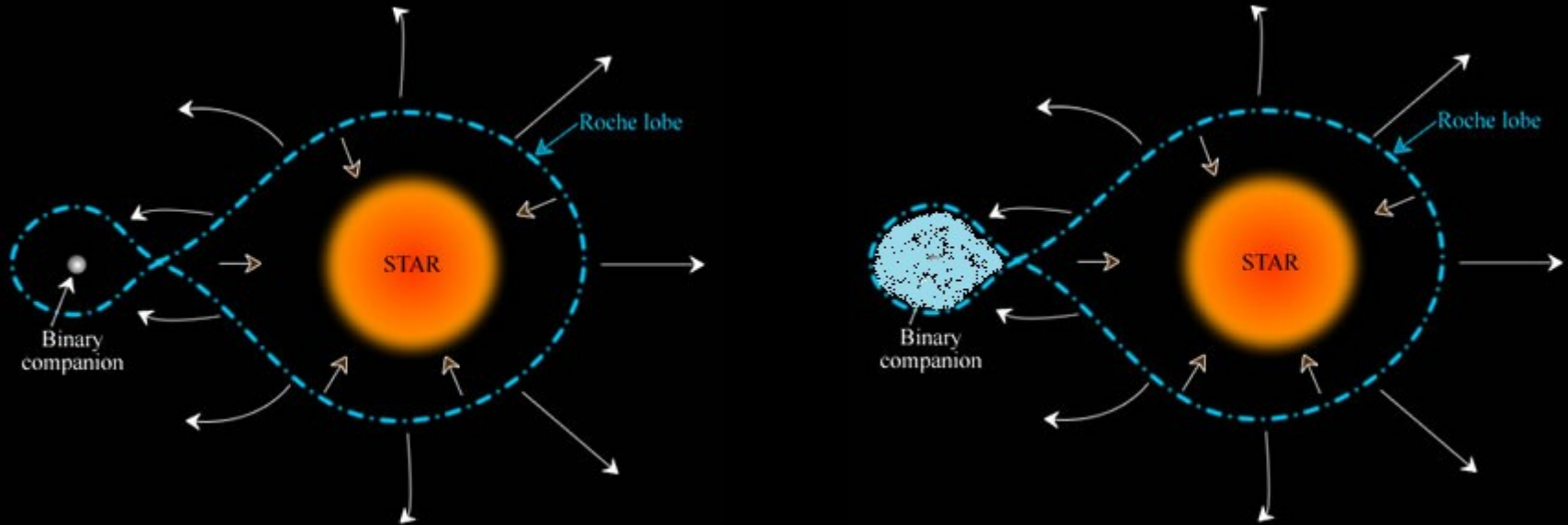
Bei einem geschätzten Alter von 5 Milliarden Jahren hat Osiris bereits $\sim 7\%$ seiner Masse verloren.



Osiris – Exoplanet mit Kometenschweif...

Hydrodynamisches *blow off*

Was ist die Roche-lobe?



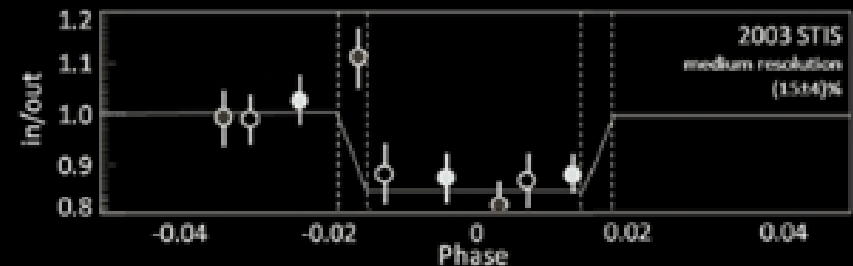
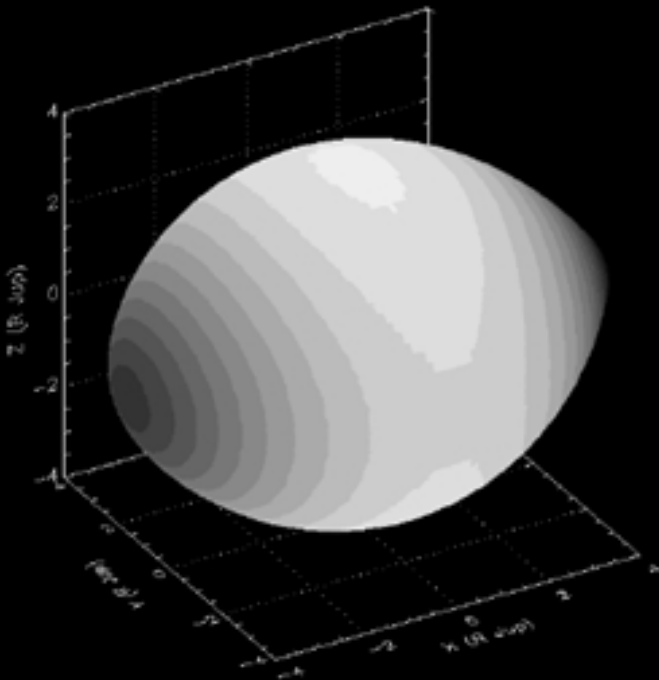
Die Roche-Grenze schließt den Raum ein, in dem Materie gravitativ gebunden ist.

Durch die starke Aufheizung kann sich die Exoplanetenatmosphäre so weit aufblähen, daß deren Exosphäre die Roche-Lobe des *hot jupiters* ausfüllt.

Gas kann über den inneren Lagrange Punkt ungehindert in die Roche lobe des Muttersterns abfließen, was einem kontinuierlichen Masseverlust gleichkommt

→ *blow off* - Effekt

Der Schlüsselprozeß, der die Abdampftrate bestimmt, ist die Exosphärenheizung durch die UV-Strahlung des Muttersterns. Die Temperatur der tieferen Schichten der Atmosphäre haben für diesen Effekt keine Bedeutung.

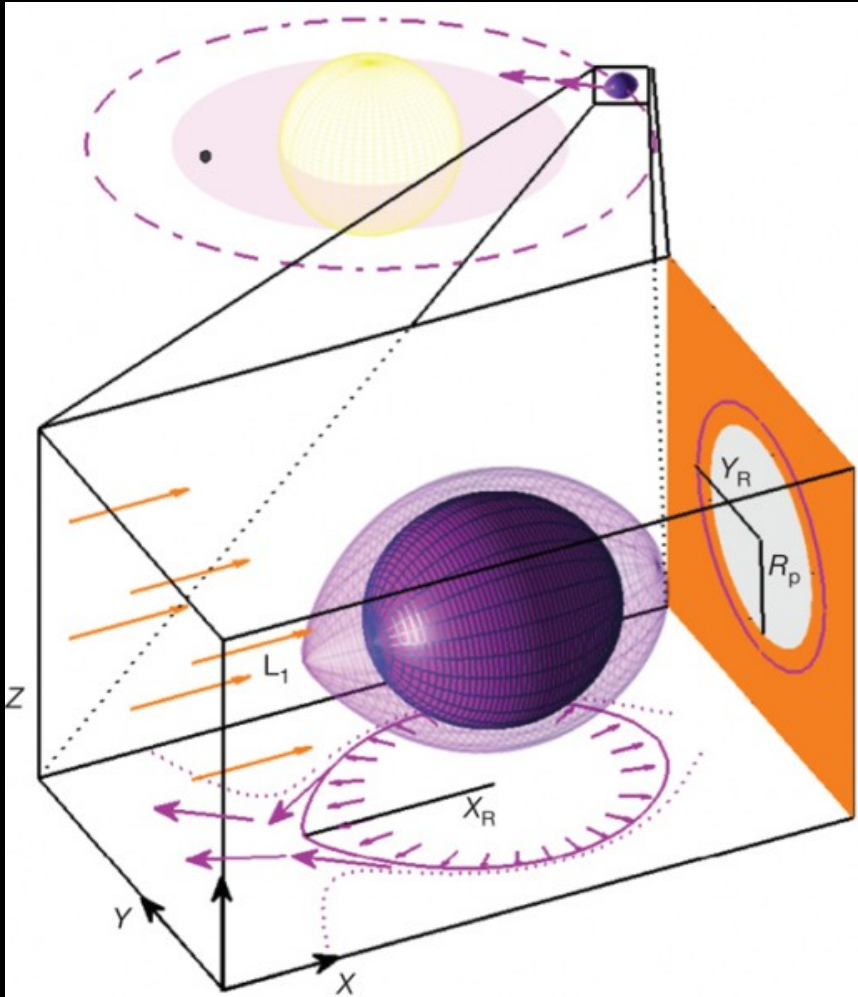


Transitlichtkurve bei Lyman Alpha (Osiris)

dunkel: hohe Abflußraten ($>10^7 \text{ kg / (s str)}$)
hell: geringe Abflußraten

Beispiel: WASP 12b

Der Exoplanet mit der höchsten Gleichgewichtstemperatur (~ 3000 K)



Mass	1.41 ± 0.09 MJ
Radius	1.79 ± 0.09 RJ
Period	1.09 days
Orbital distance	0.0229 AU

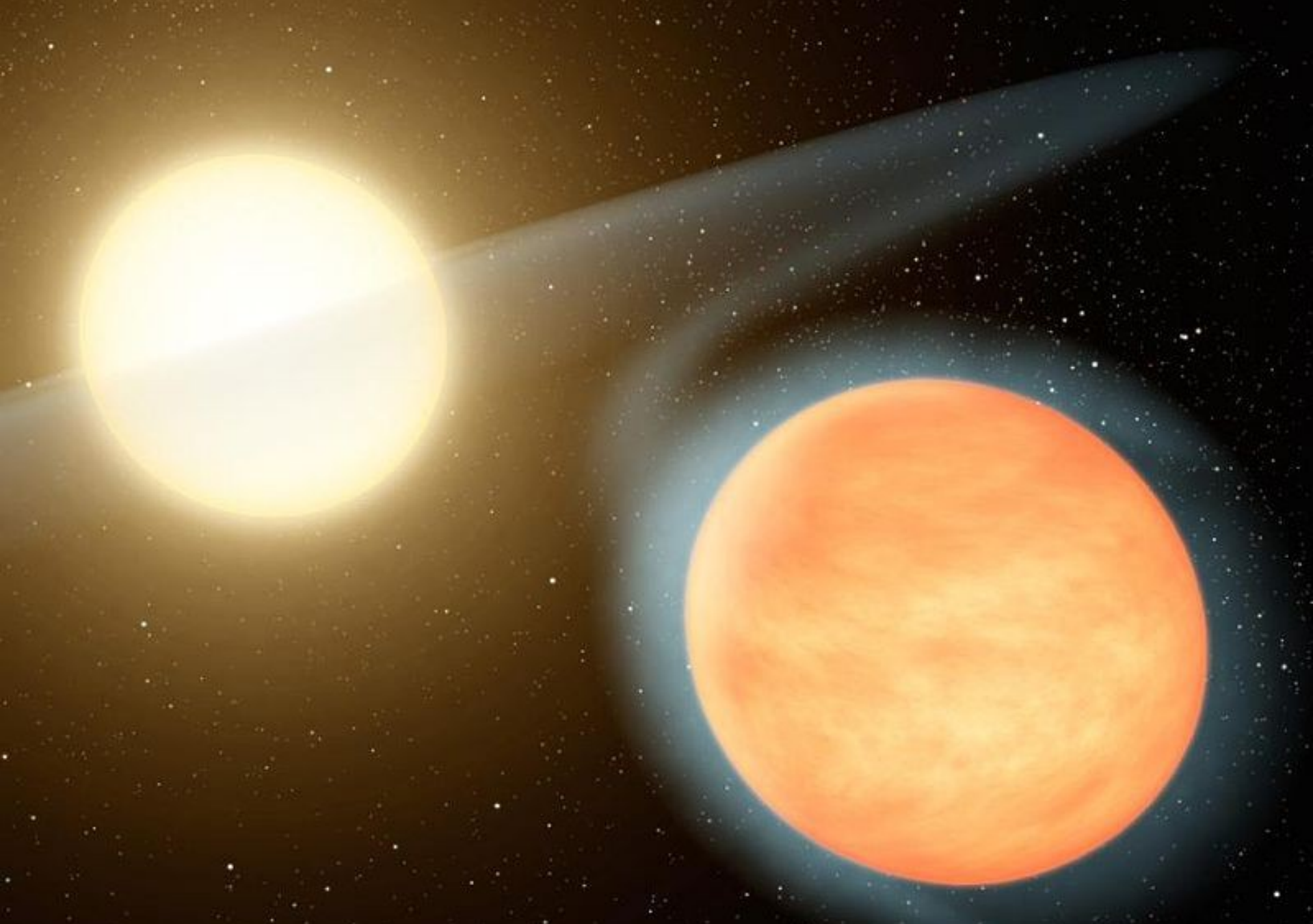
Star: Spektraltyp F

Mass	1.35 ± 0.4 MSun
Temperature	~ 6250 K

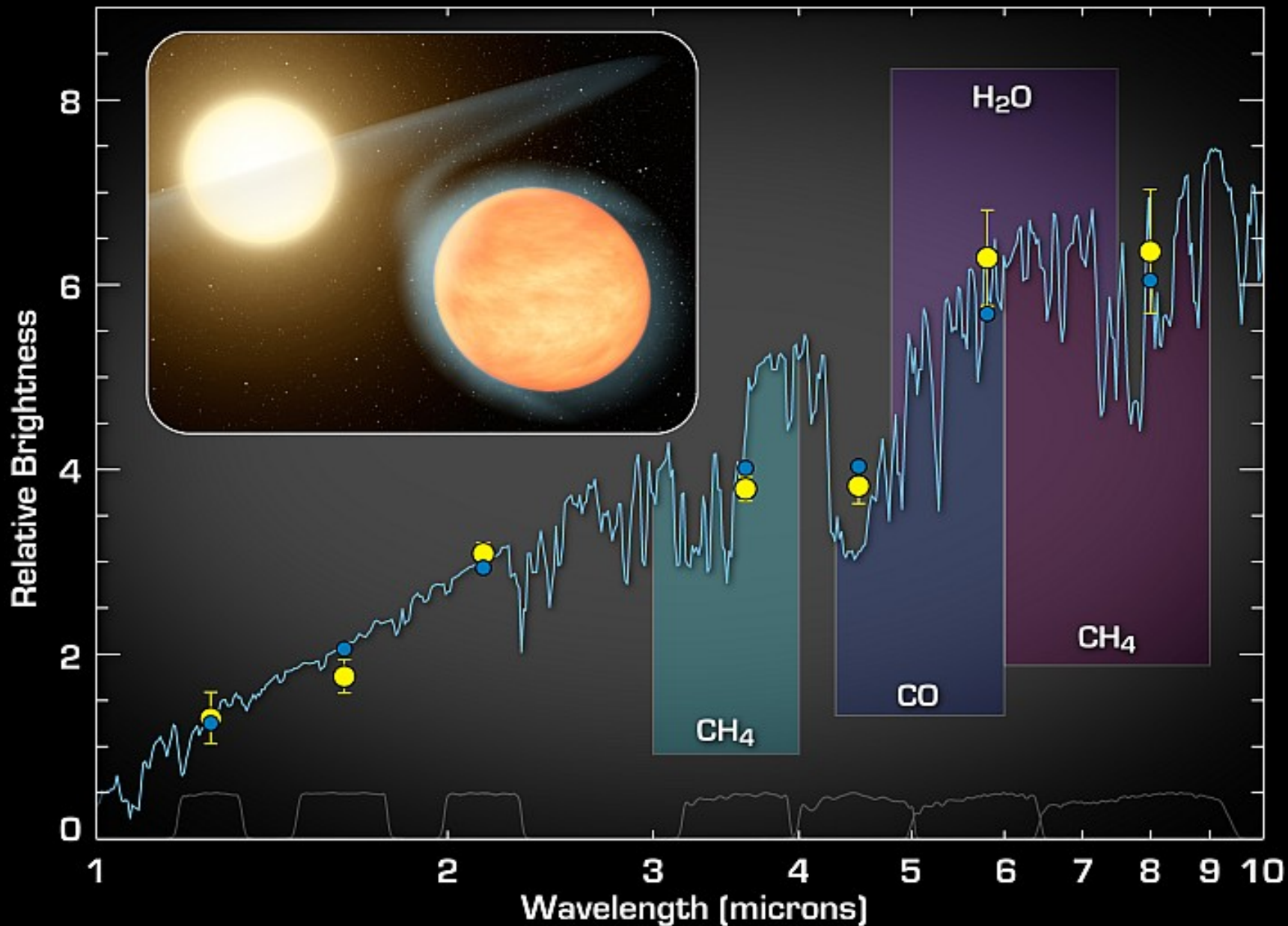
Sternbild Auriga

Mit Hilfe des Spitzer-Weltraumteleskops gelang der Nachweis von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Methan.

WASP 12b wird gerne zur Überprüfung von Modellen des hydrodynamischen *blow off* verwendet... (z.B. Li, 2010)



WASP 12b, Hauptstern entspricht Sonne, effektive Temperatur des Exoplaneten ~ 2500 K



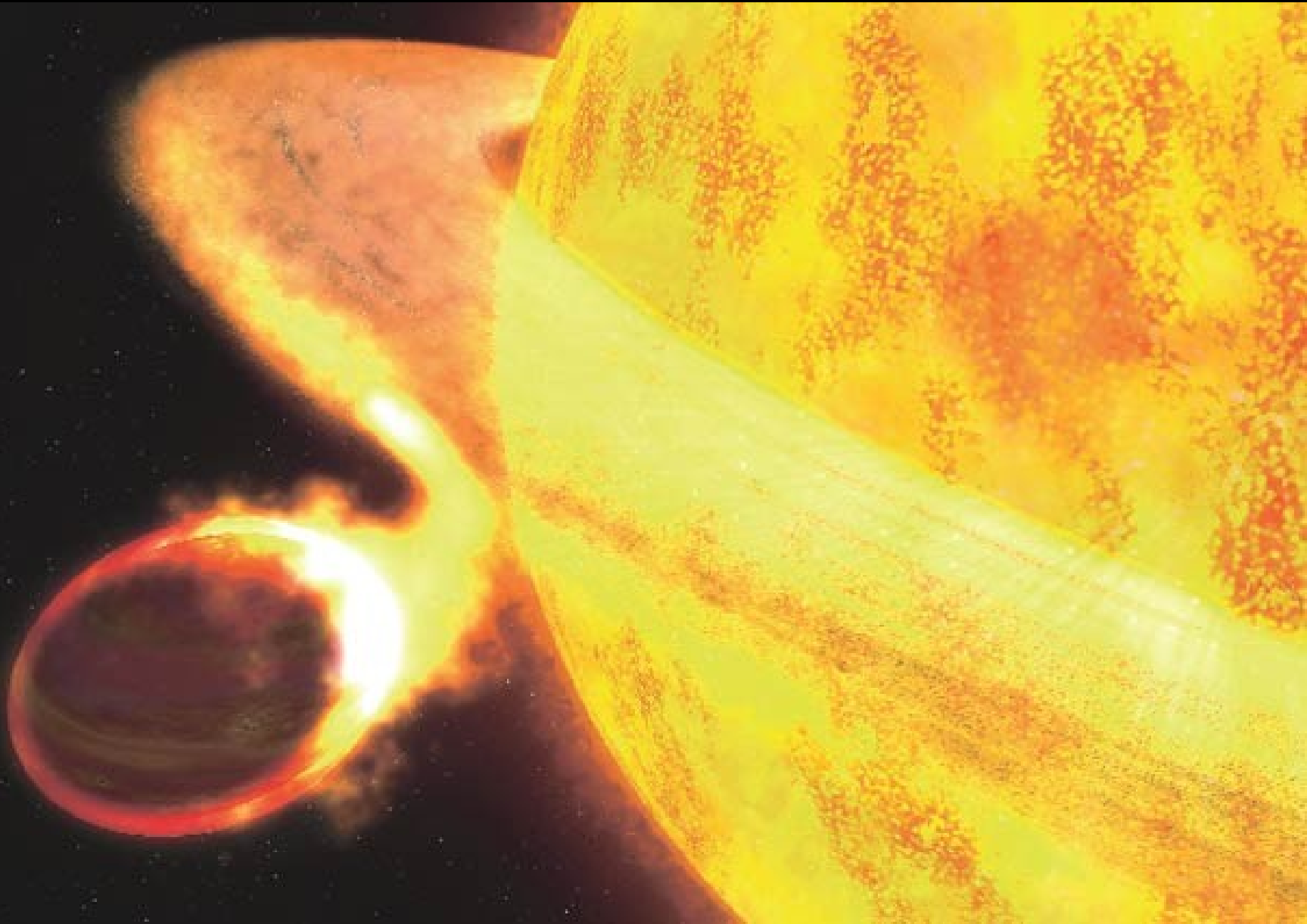
Exoplanet WASP-12b

NASA / JPL-Caltech / N. Madhusudhan (Princeton University)

Spitzer Space Telescope • IRAC

ssc2010-10a

WASP 12b im Zustand des hydrodynamischen *blow off*



Nächstes Mal: Super-Erden ...

