

# Das ELT

Möglichkeiten, Ziele, Herausforderungen, Stand

Bruno Leibundgut  
European Southern Observatory (ESO)



# European Southern Observatory (ESO)



# ESOs Welt

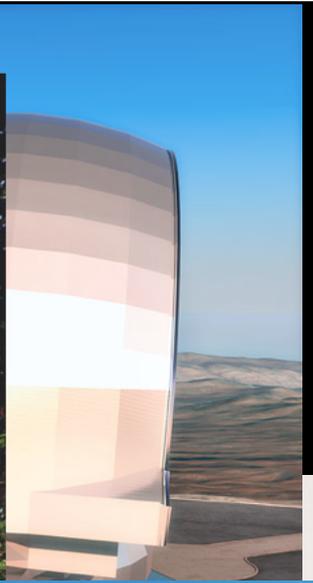


Paranal  
La Silla  
Santiago

Chajnantor

Garching bei München

Sternwa  
8 Tele  
APEX in



© Julien Girard 2019

G. Hudepohl

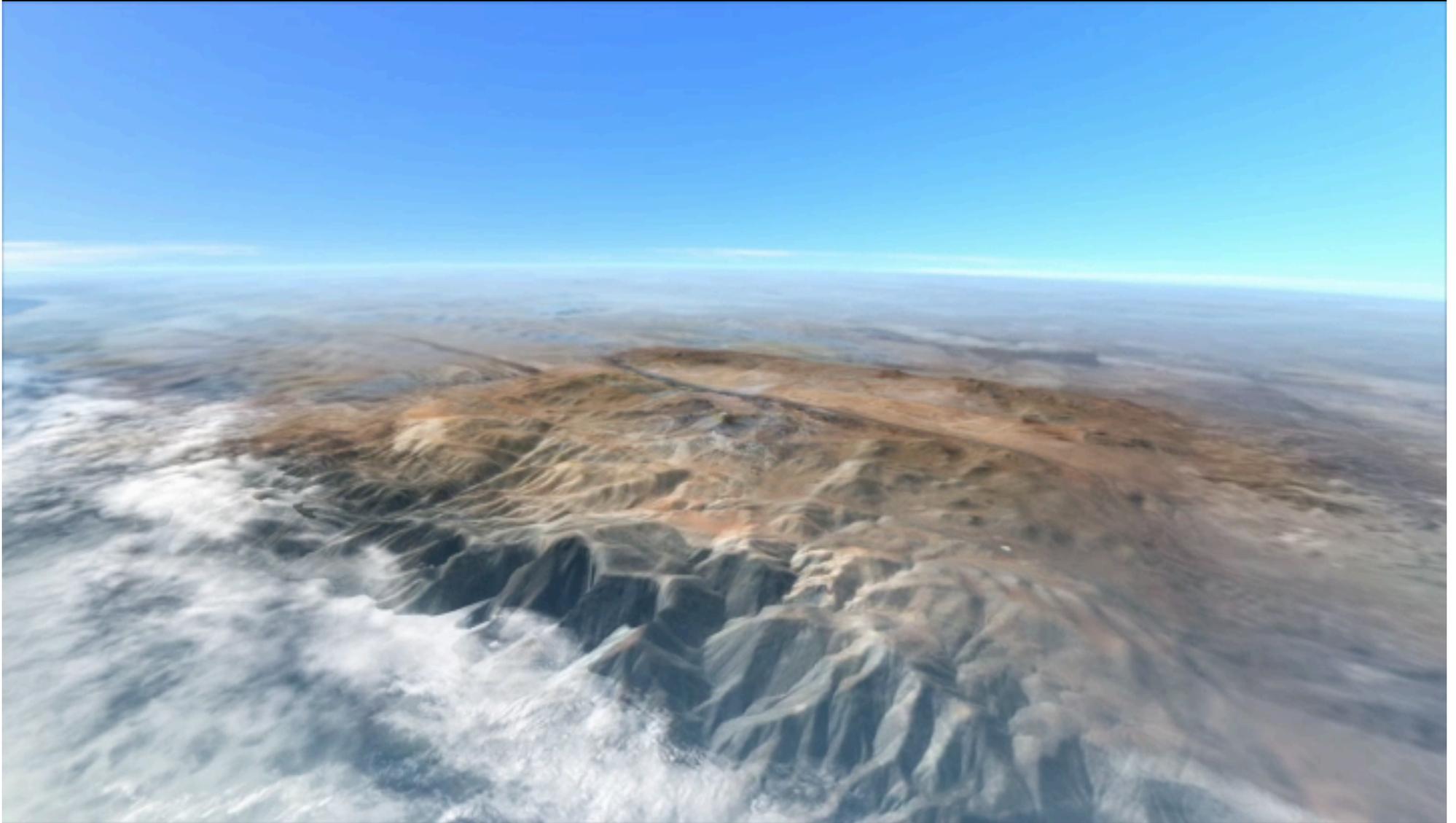
**Wie beobachten wir unsere Welt?**





Claude Nicollier

# Das Very Large Telescope (VLT)



# Eine Nacht auf Paranal

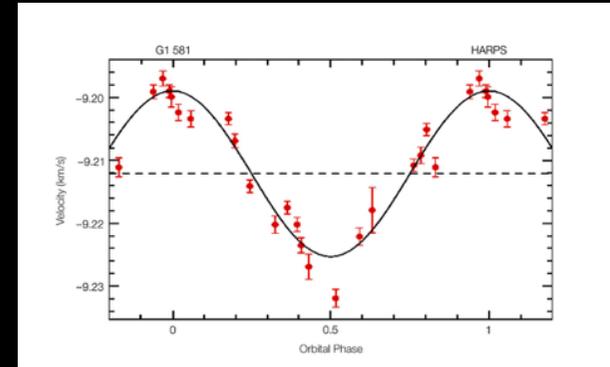
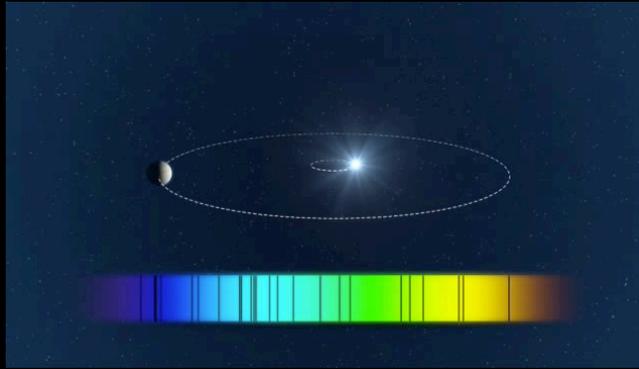




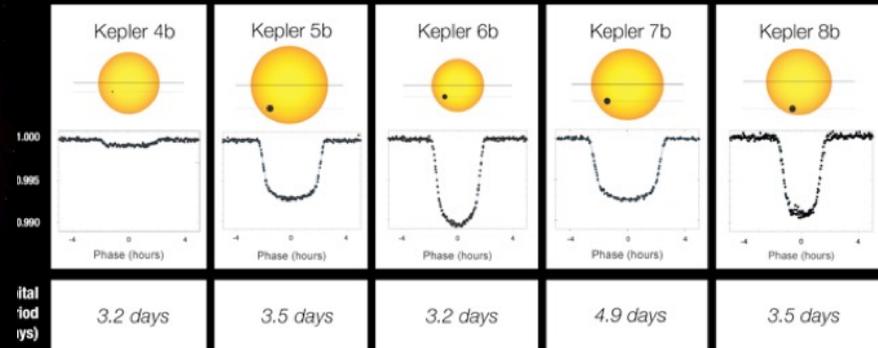
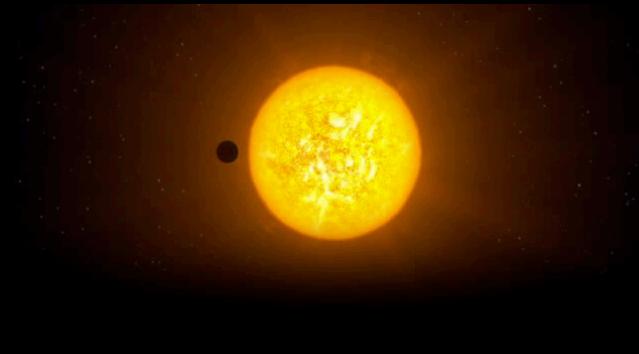


# Entdeckung von Exoplaneten

Radialgeschwindigkeit

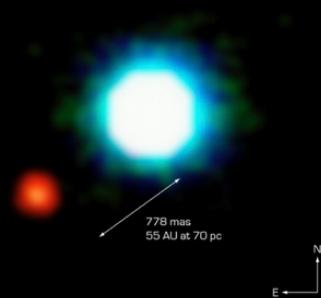


Sternbedeckung

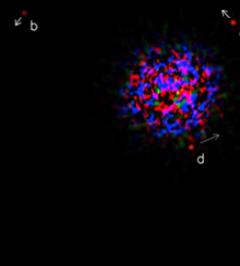


Abbildung

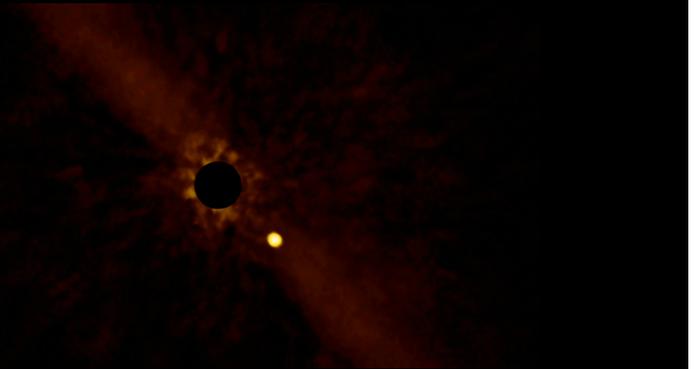
2MASSWJ1207334-393254



HR 8799



0.5"  
20 AU



# Planeten um andere Sterne

Planet mit Erd-Masse um den nächsten bekannten Stern (Proxima Centauri)

Proxima Centauri ist ein schwacher Stern

- etwa 4 Lichtjahre entfernt
- etwa 1/10 der Sonnenmasse
- 1000 mal schwächer als die Sonne
- Umlauf um  $\alpha$  Centauri (A+B) in 550000 Jahren

# Exo-Planeten

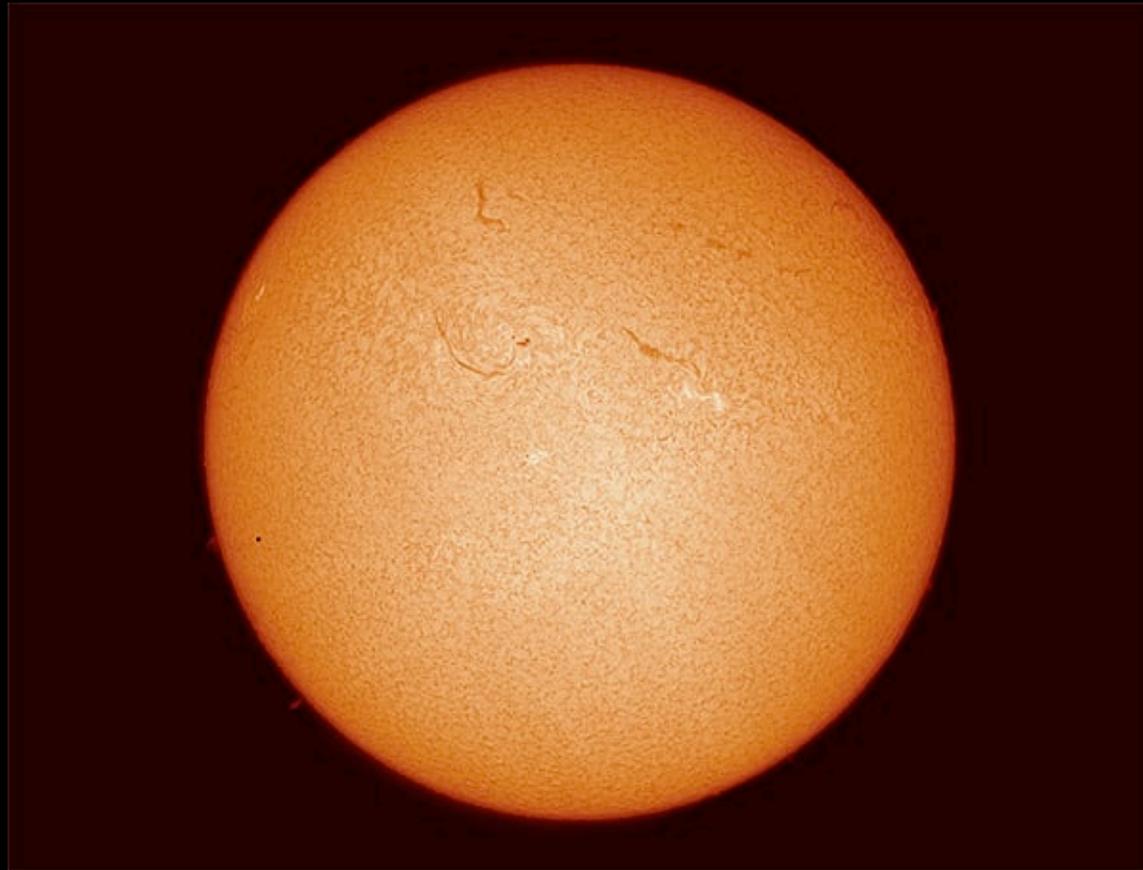


# Venus Transit



NASA  
Venus and the ISS

# Merkur Transit 11. November 2019

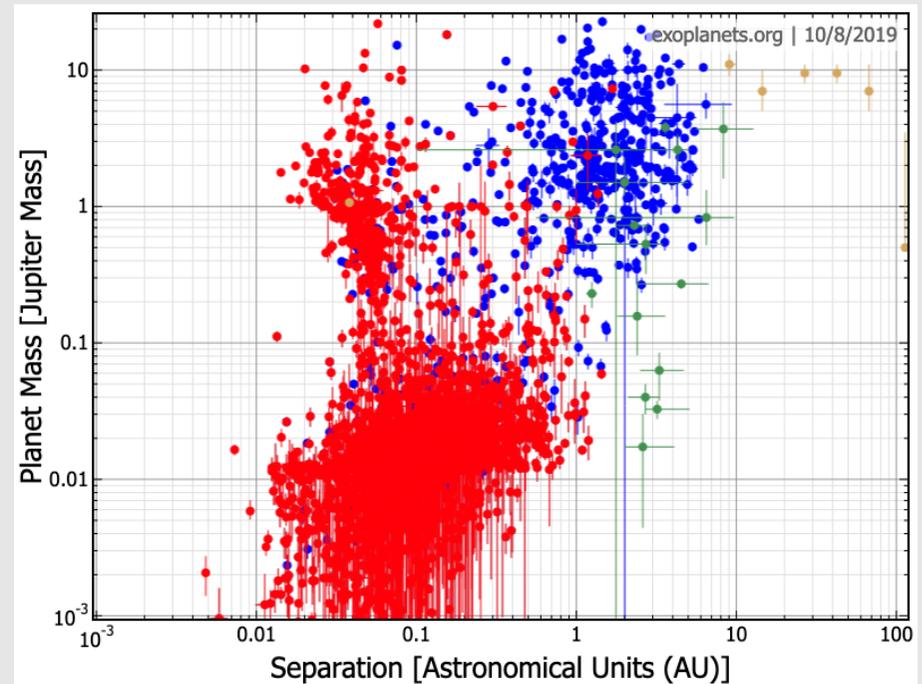
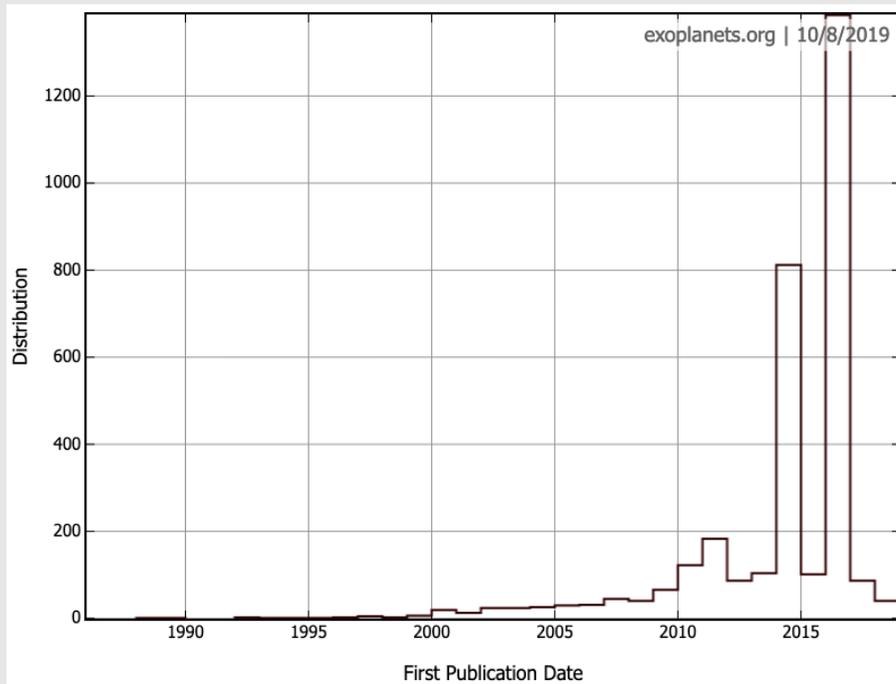


©Mario Weigand

# Exo-Planeten

Stand 2019 (13. November)

- 3262 bestätigte Planeten
- 2485 unbestätigte Kandidaten



# Ein Planetensystem

Sieben Planeten mit etwa der Erdmasse im Umlauf um einen kleinen Stern

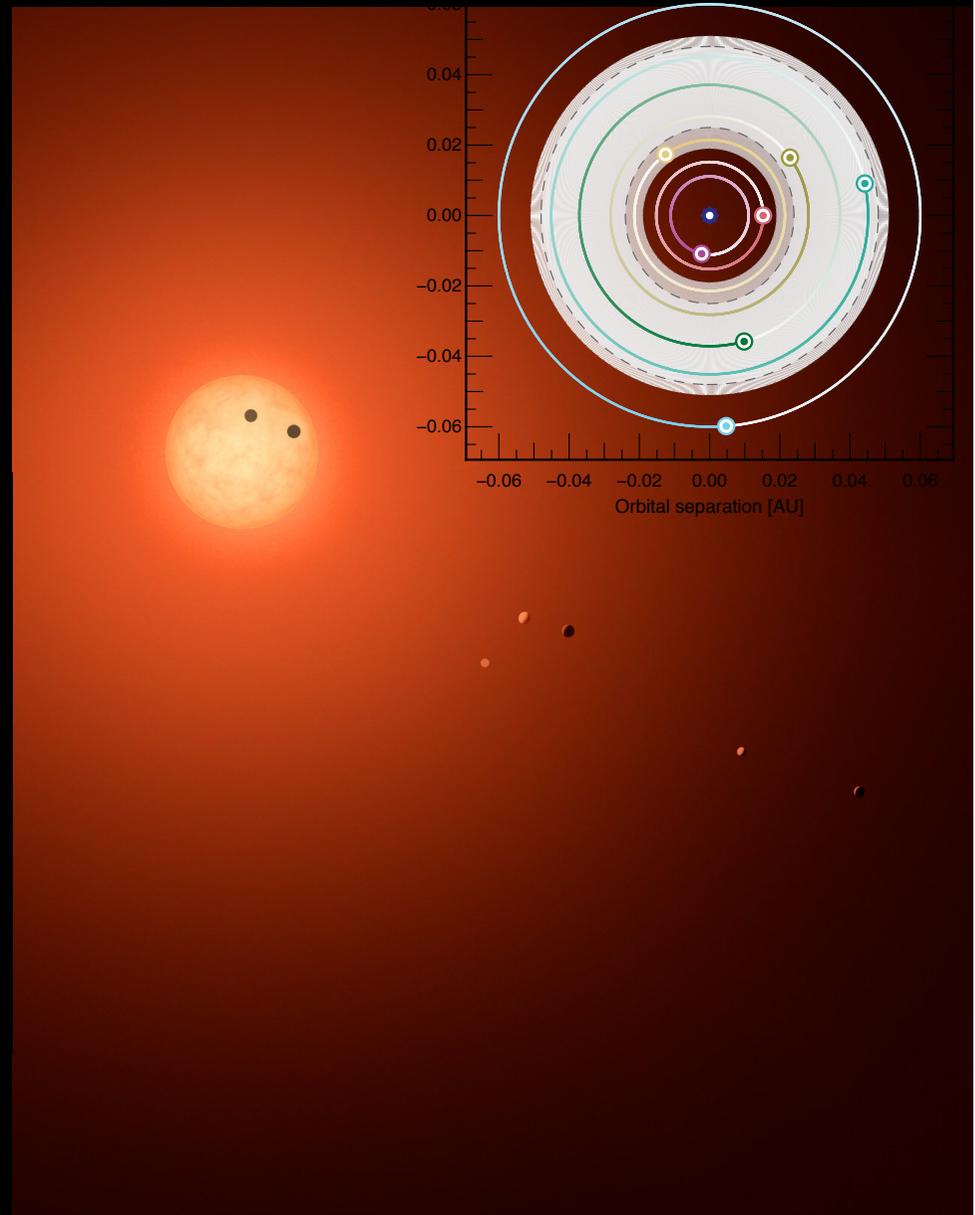
TRAPPIST-1 System

	b	c	d	e	f	g	h
Orbital Period <small>days</small>	1.51	2.42	4.05	6.10	9.21	12.35	~20
Distance to Star <small>Astronomical Units (AU)</small>	0.011	0.015	0.021	0.028	0.037	0.045	~0.06
Planet Radius <small>relative to Earth</small>	1.09 $R_{\text{Earth}}$	1.06 $R_{\text{Earth}}$	0.77 $R_{\text{Earth}}$	0.92 $R_{\text{Earth}}$	1.04 $R_{\text{Earth}}$	1.13 $R_{\text{Earth}}$	0.76 $R_{\text{Earth}}$
Planet Mass <small>relative to Earth</small>	0.85 $M_{\text{Earth}}$	1.38 $M_{\text{Earth}}$	0.41 $M_{\text{Earth}}$	0.62 $M_{\text{Earth}}$	0.68 $M_{\text{Earth}}$	1.34 $M_{\text{Earth}}$	-

Illustrations

Solar System  
Rocky Planets

	Mercury	Venus	Earth	Mars
Orbital Period <small>days</small>	87.97	224.70	365.26	686.98
Distance to Star <small>Astronomical Units (AU)</small>	0.387	0.723	1.000	1.524
Planet Radius <small>relative to Earth</small>	0.38 $R_{\text{Earth}}$	0.95 $R_{\text{Earth}}$	1.00 $R_{\text{Earth}}$	0.53 $R_{\text{Earth}}$
Planet Mass <small>relative to Earth</small>	0.06 $M_{\text{Earth}}$	0.82 $M_{\text{Earth}}$	1.00 $M_{\text{Earth}}$	0.11 $M_{\text{Earth}}$



# Größenvergleich



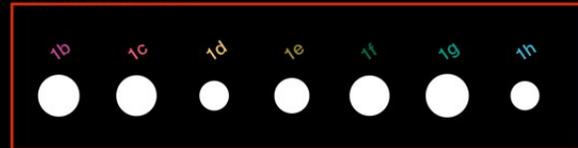
Jupiter  
Ø 139 822 km

Galilean moons of Jupiter

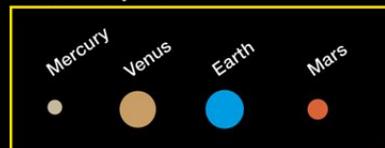


TRAPPIST-1  
Ø 162 793 km

TRAPPIST-1 planets



Inner Solar System



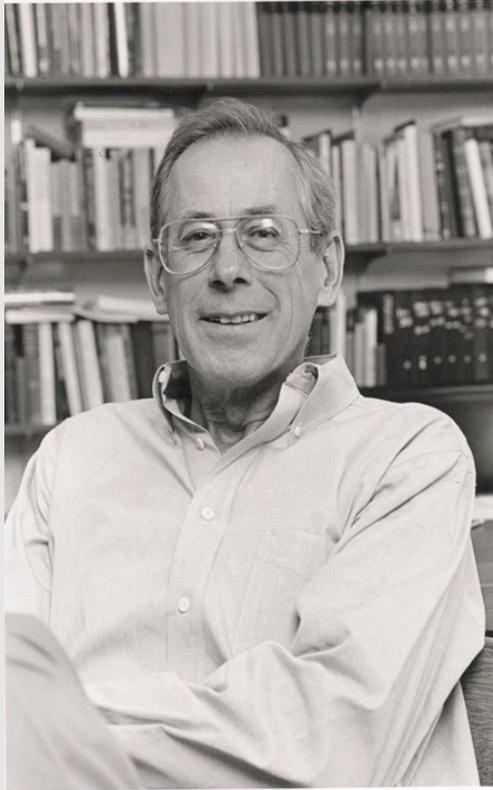
Sun  
Ø 1 391 400 km

# Aussichten im TRAPPIST-1 System



# Physik Nobelpreis 2019

Princeton University



"for theoretical discoveries in physical cosmology."



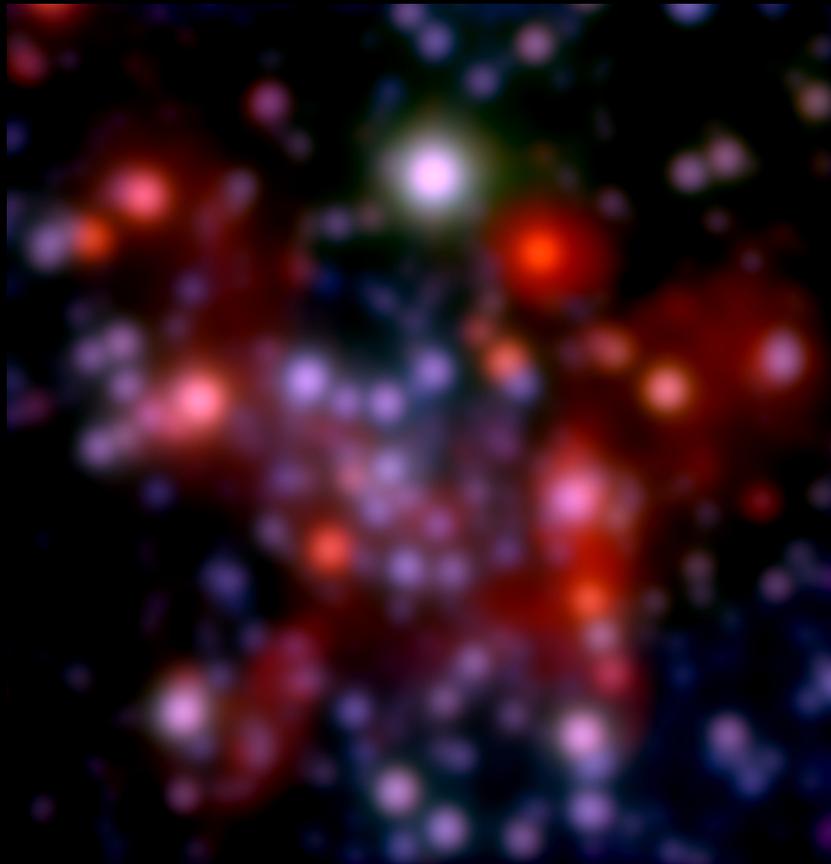
SRF

"for the discovery of an exoplanet orbiting a solar-type star."

# Reise zum Zentrum der Milchstraße

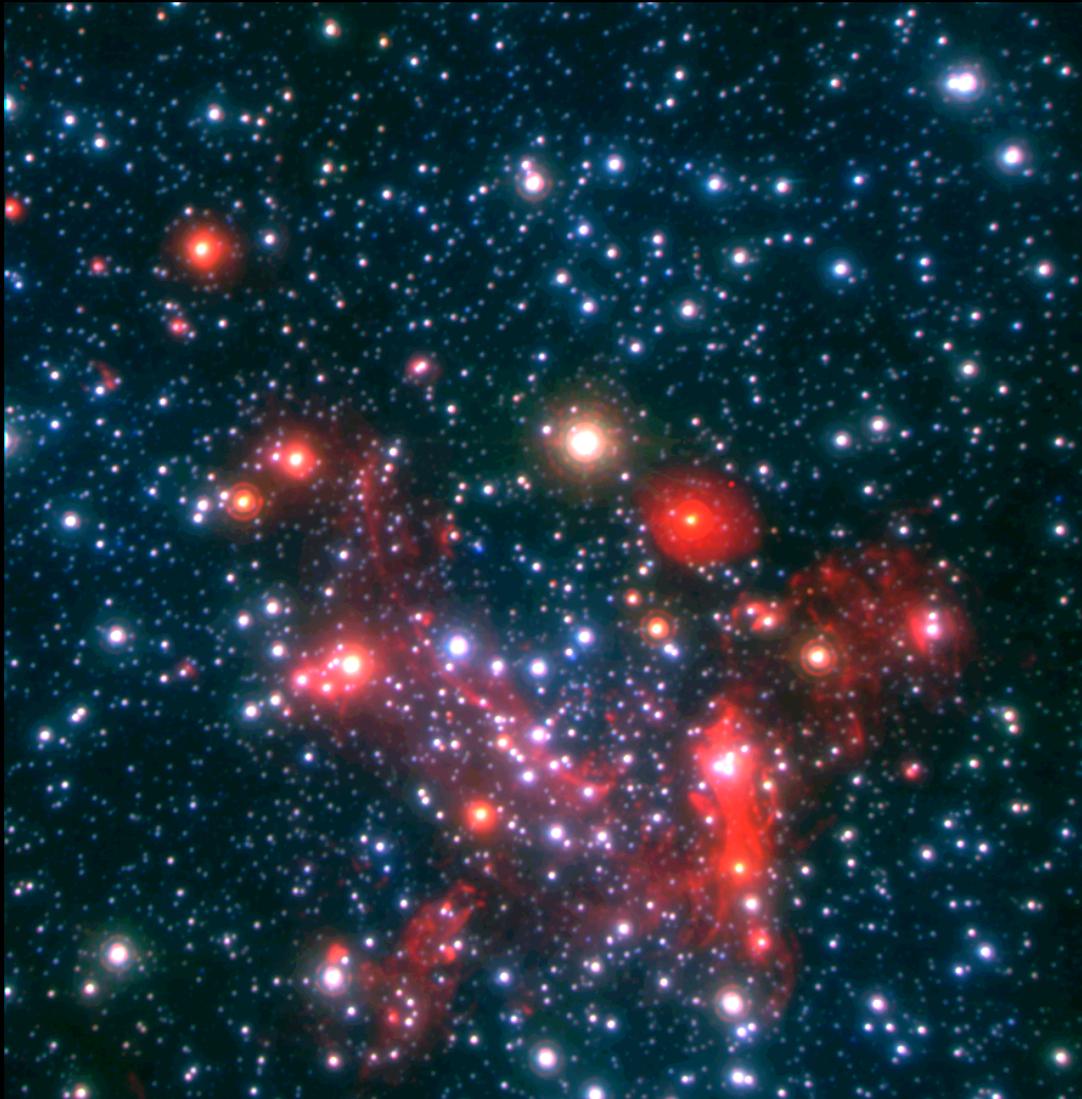


# Die innere Milchstraße ohne adaptive Optik



Stefan Gillessen

# Die innere Milchstraße mit adaptiver Optik

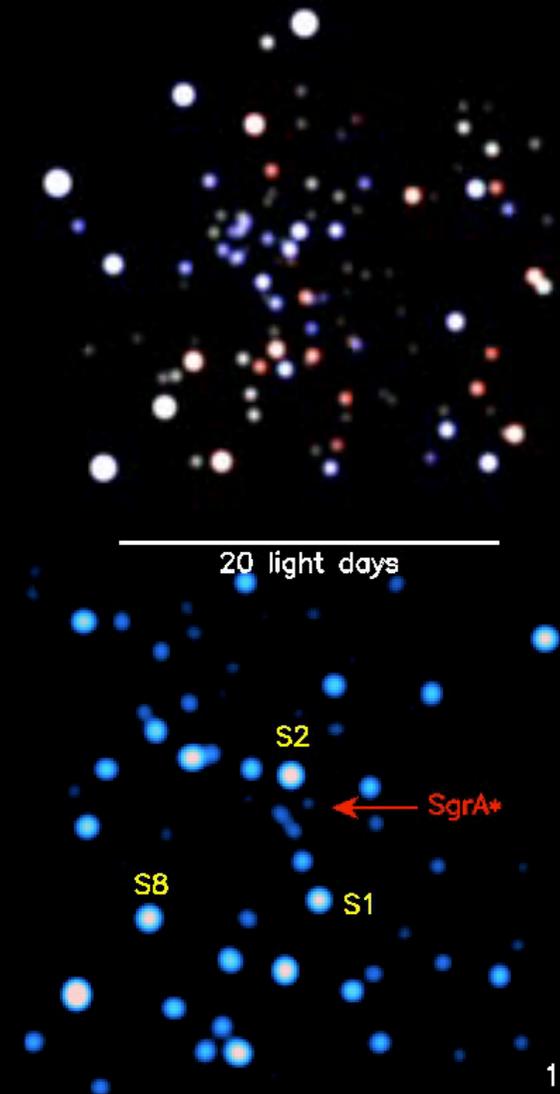


Stefan Gillessen

NACO/MLT,  
HKL color composite

# Das Schwarze Loch im Zentrum

- Umlauf der nächsten Sterne
- Struktur um das Schwarze Loch durch Lichtausbrüche
- Test der Allgemeinen Relativitätstheorie im hohen Schwerefeld

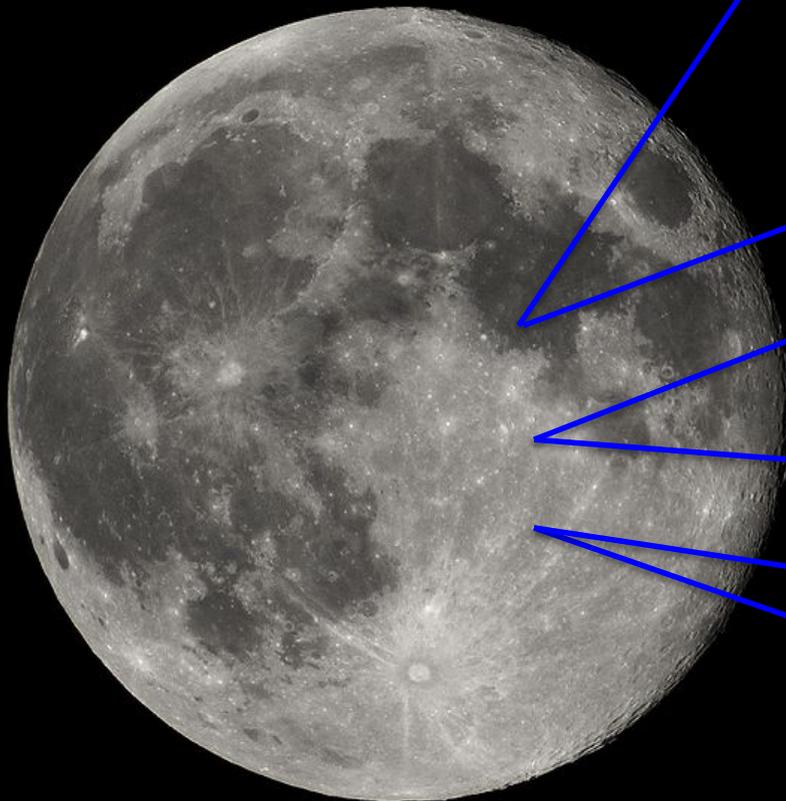


**Gewinn an  
Genauigkeit:  
Faktor 20**



**S2**

**200mas**



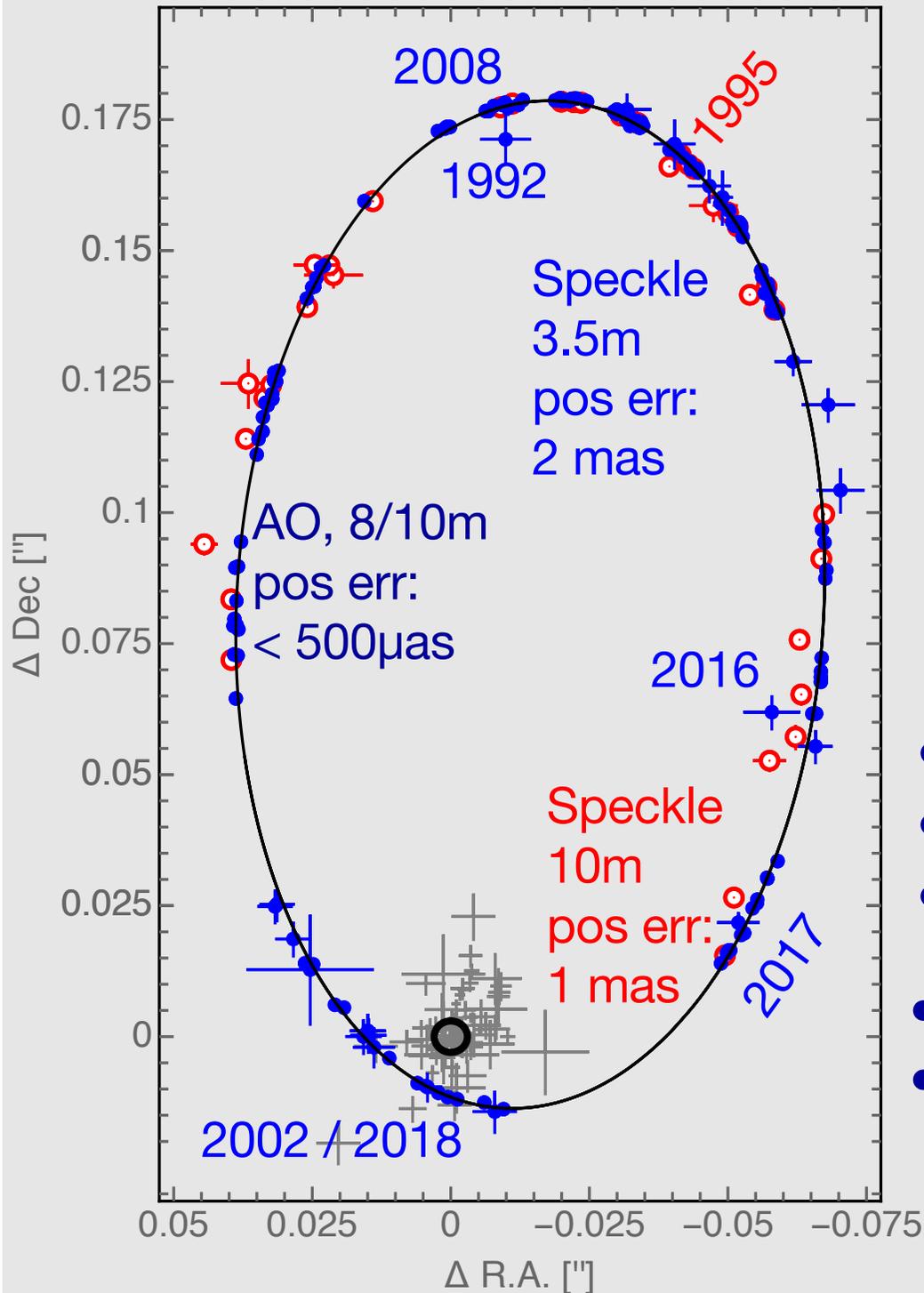
**Auflösung:  
3mas**



**Positionen:  
10 $\mu$ as**

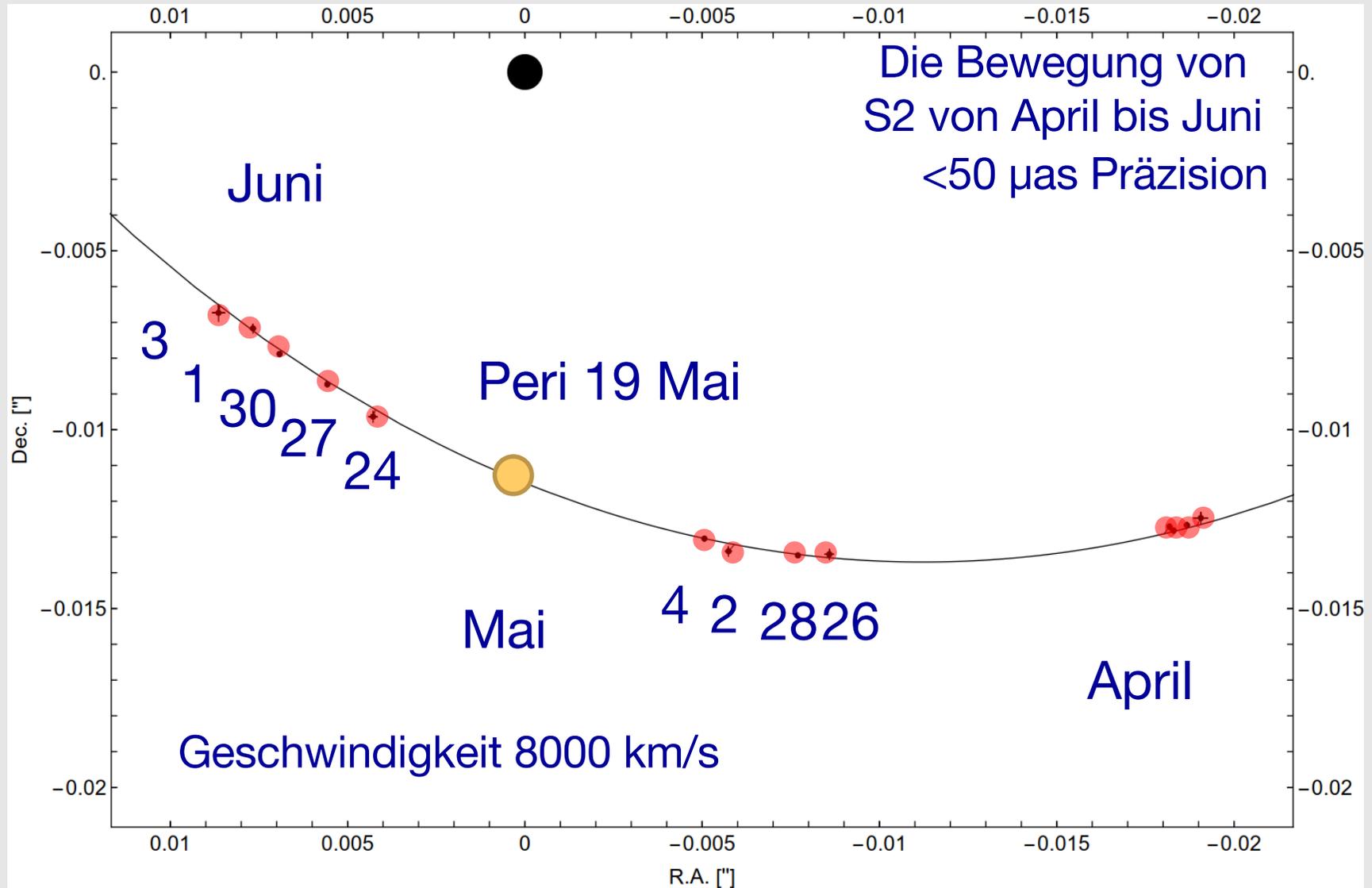
# S2: der Super-Stern

VLT & Keck Daten geeignet kombiniert

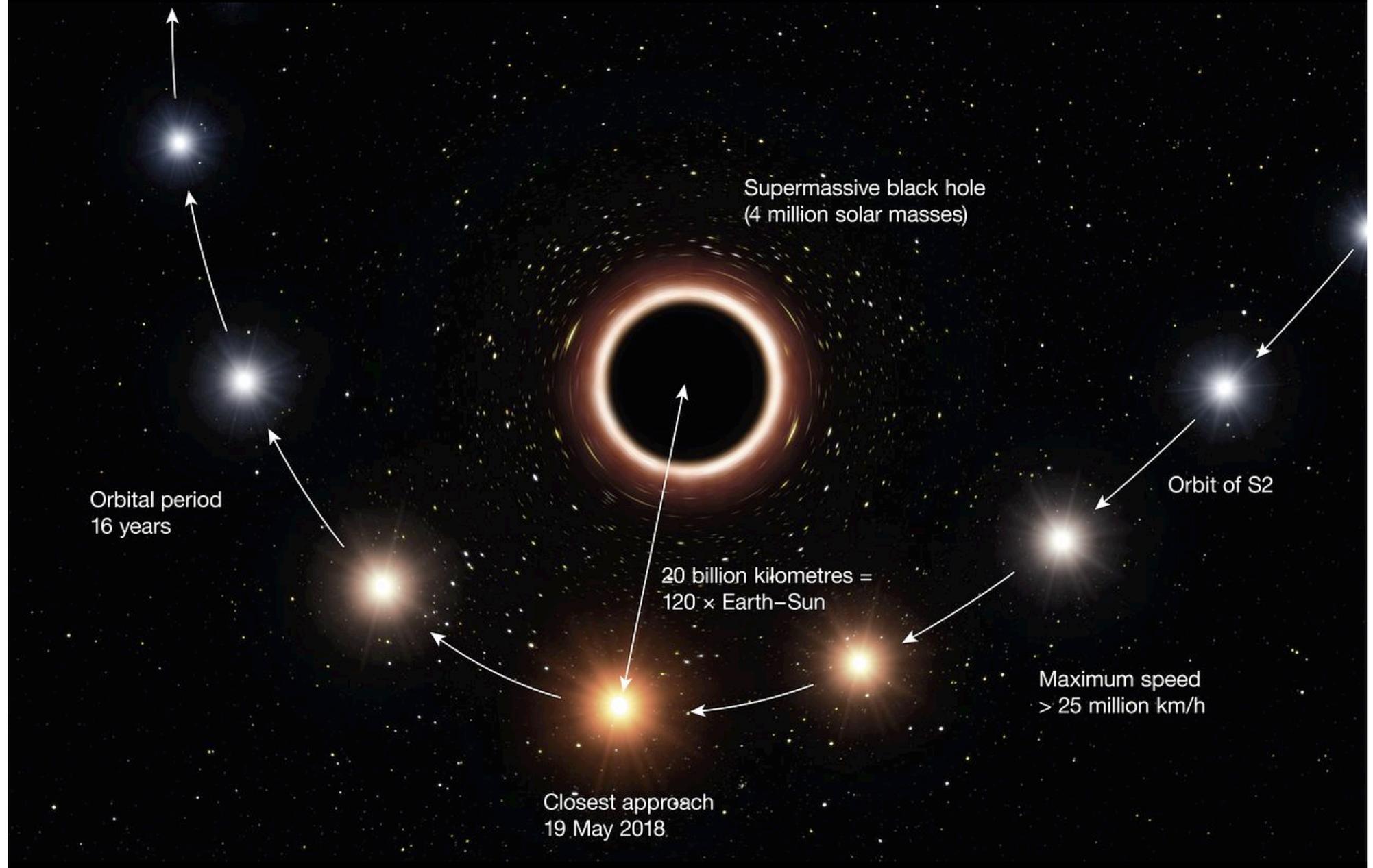


- Period: 16.0 years
- große Halbachse: 125 mas
- Exzentrizität: 0.88
- $M = 4.11 \pm 0.03 \pm 0.1 \times 10^6 M_{\odot}$
- $R_0 = 8.13 \pm 0.03 \pm 0.1$  kpc

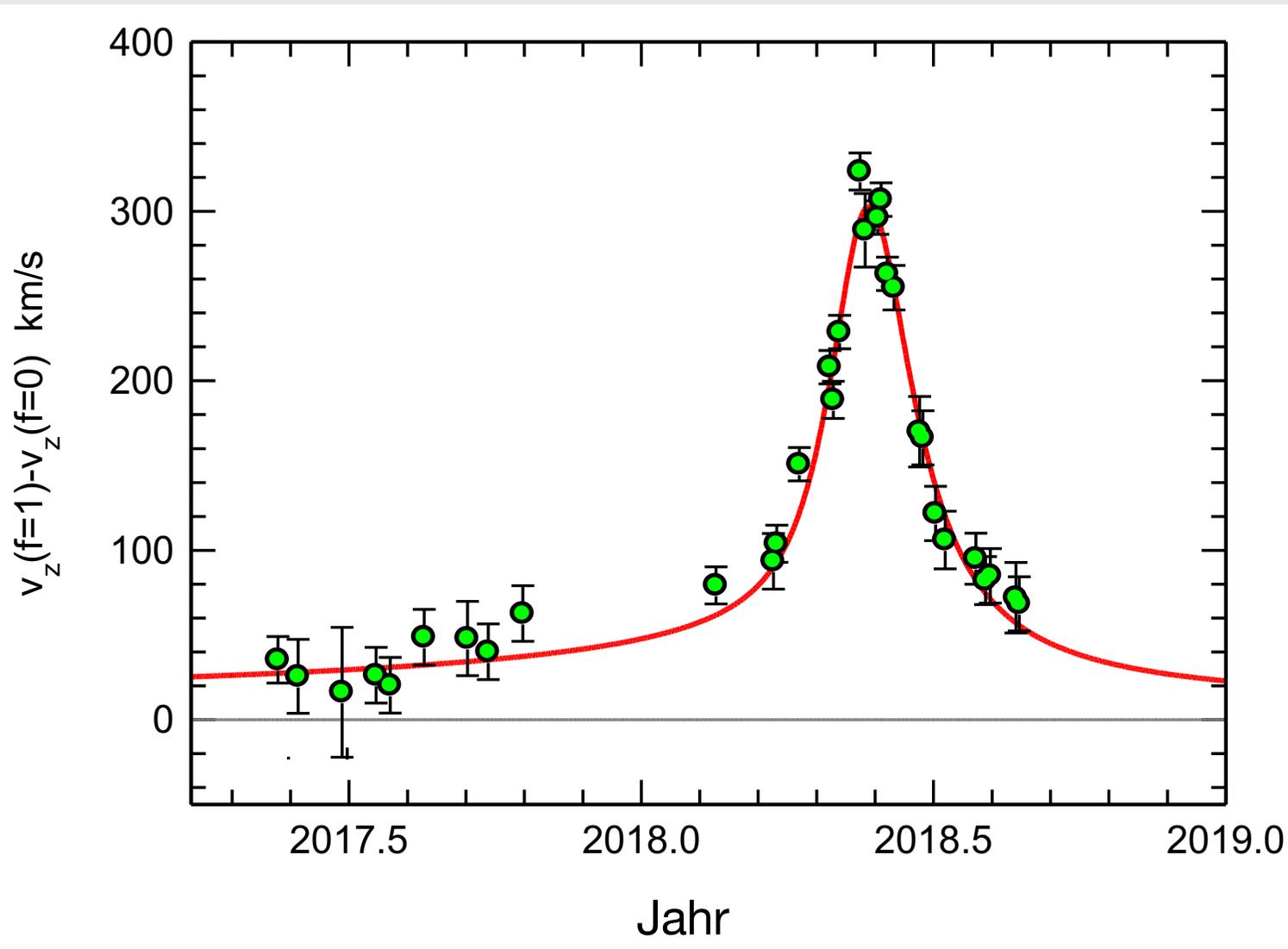
# Der nahe Vorbeiflug im Mai sehr genau verfolgt



# Rötung beim Vorbeiflug



# Die Rotverschiebung wurde exakt so gemessen wie erwartet

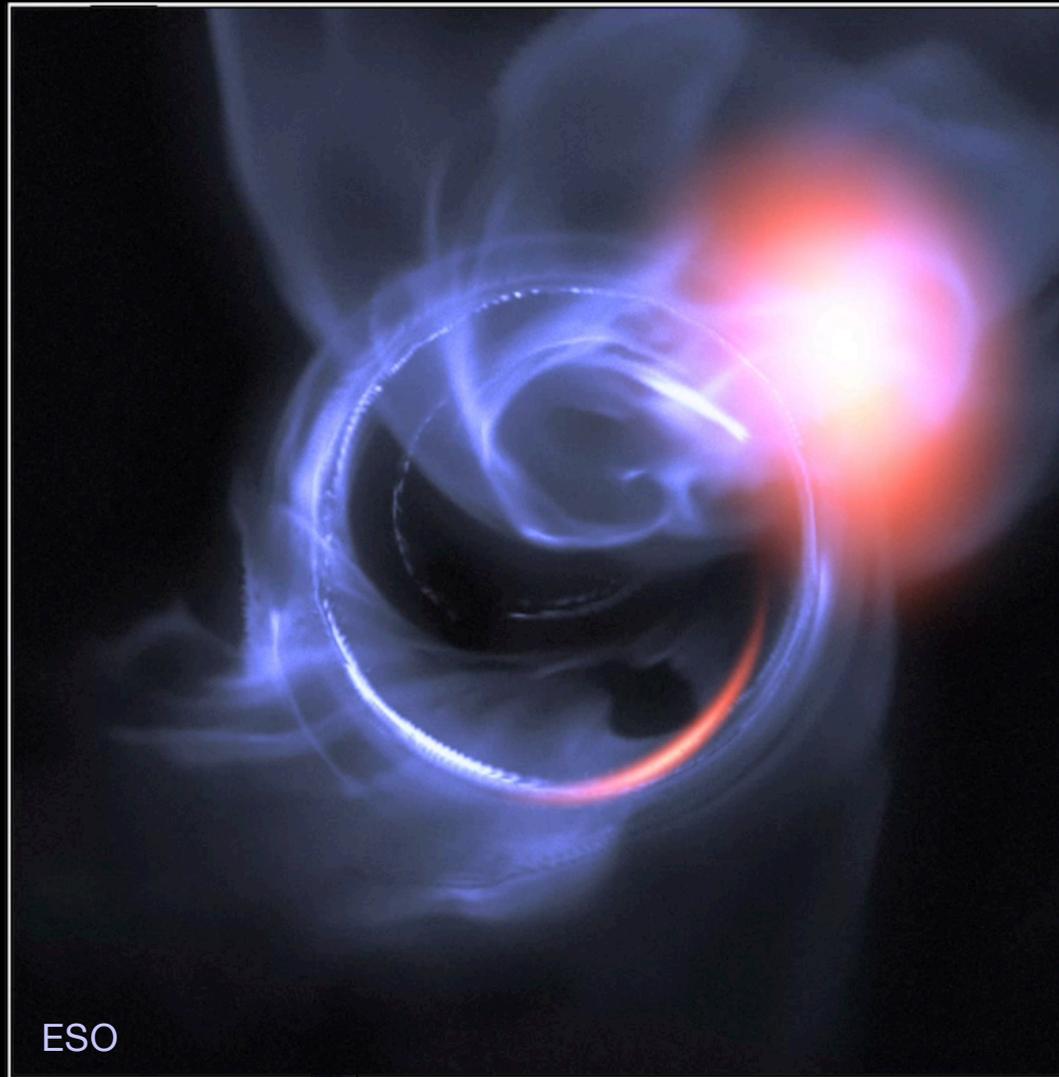


# 10 $\mu\text{as}$ ist der Ereignishorizont von Sgr A\*

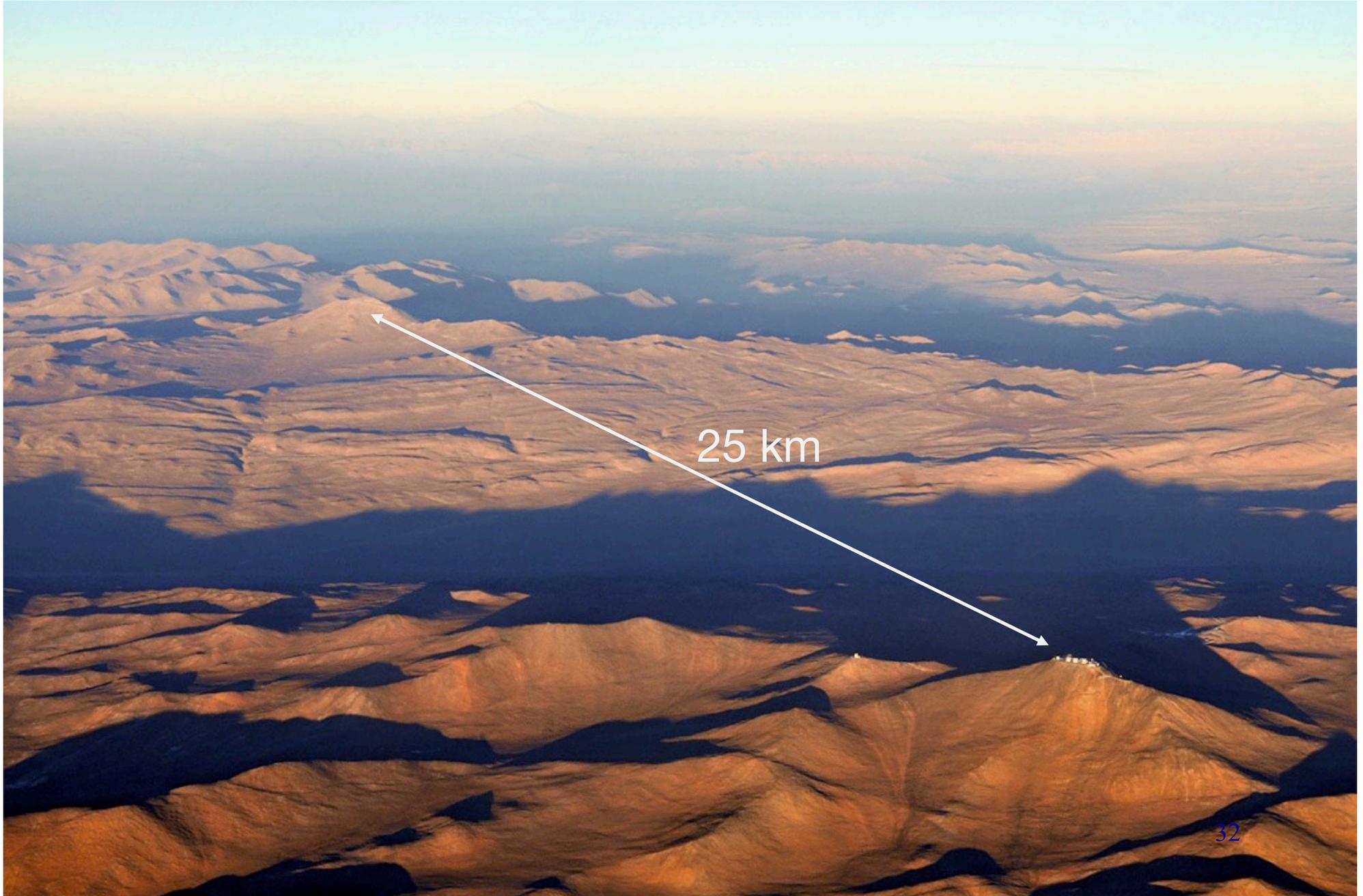


Erd-Umlaufbahn

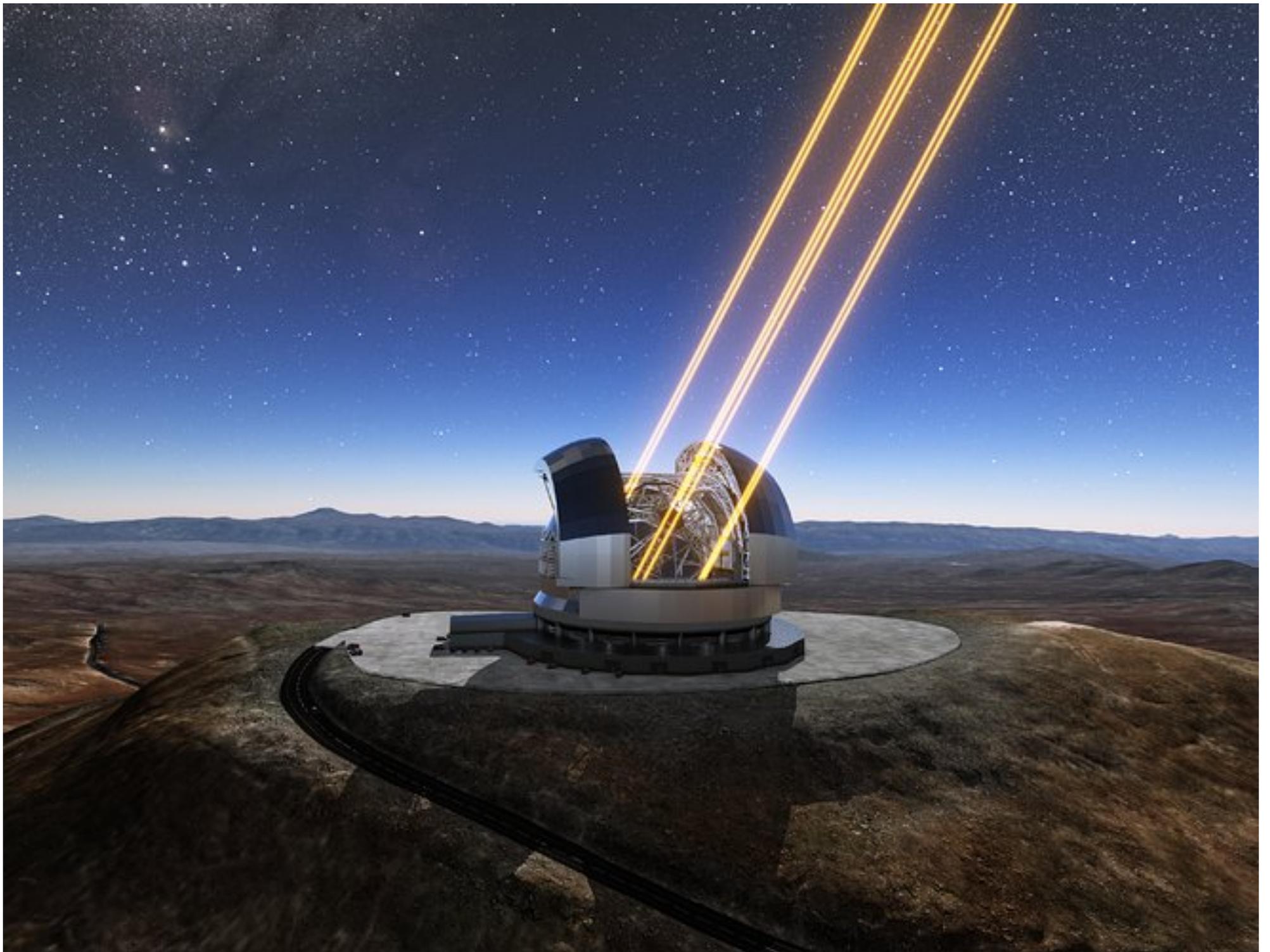
# So könnte das aussehen



# Armazones and Paranal

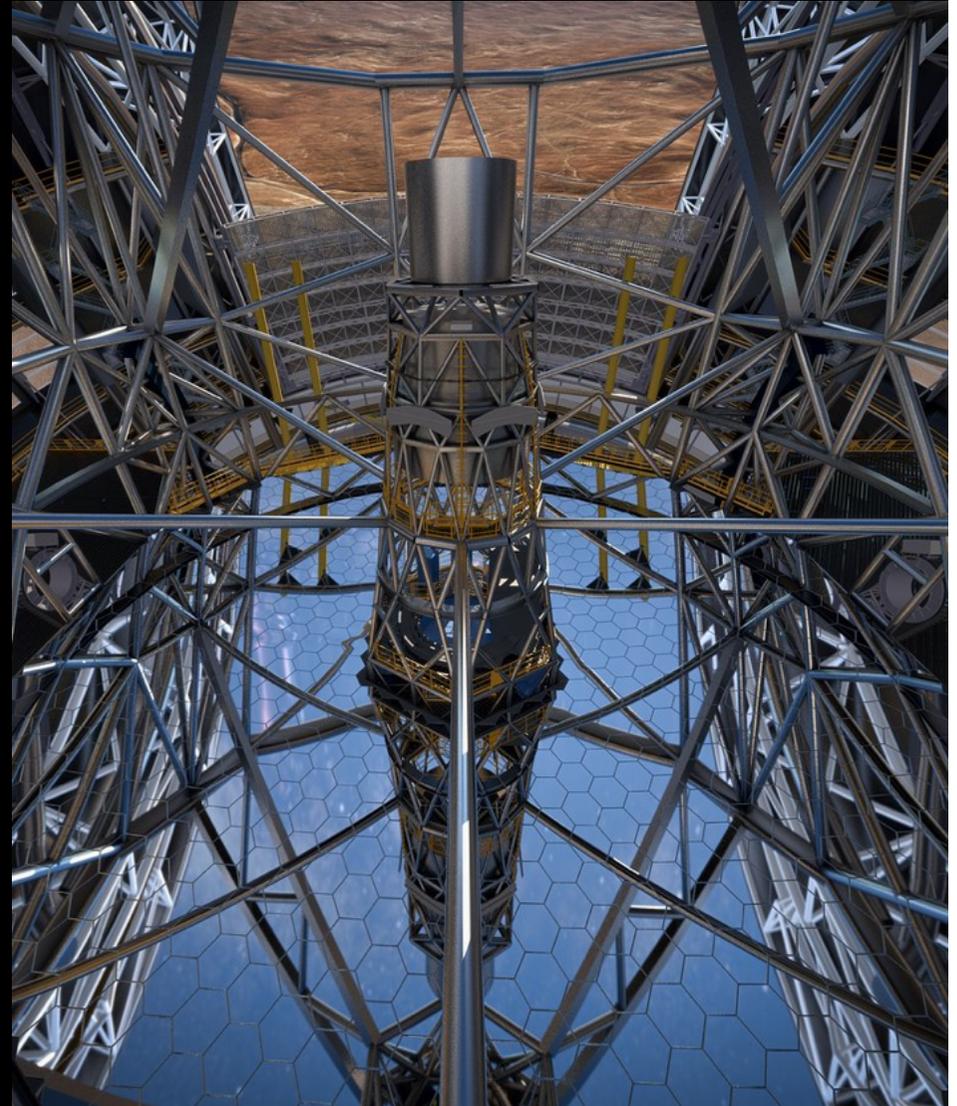






# Das ELT

- 39m Teleskop
  - größtes optisches Teleskop
  - 798 einzelne Spiegelsegmente
  - adaptive Optik
  - umfassende Instrumentensuite
- Konstruktion vom ESO Rat für die erste Phase bewilligt
- First Light in 2025



# Extremely Large Telescope(s)

120 m

100 m

80 m

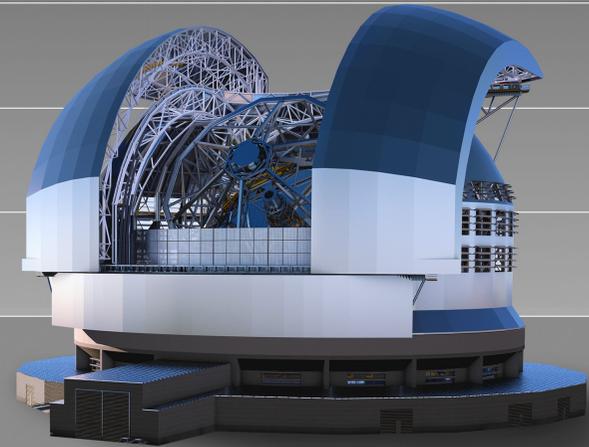
60 m

40 m

20 m



Allianz Arena



E-ELT

100 m

80 m

60 m

40 m

20 m



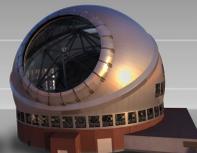
Very Large Telescope



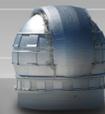
Extremely Large Telescope



Keck Telescope



Thirty Meter Telescope



Gran Telescopio Canarias



Subaru Telescope



South African Large Telescope



New Technology Telescope



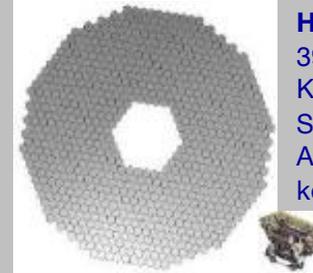
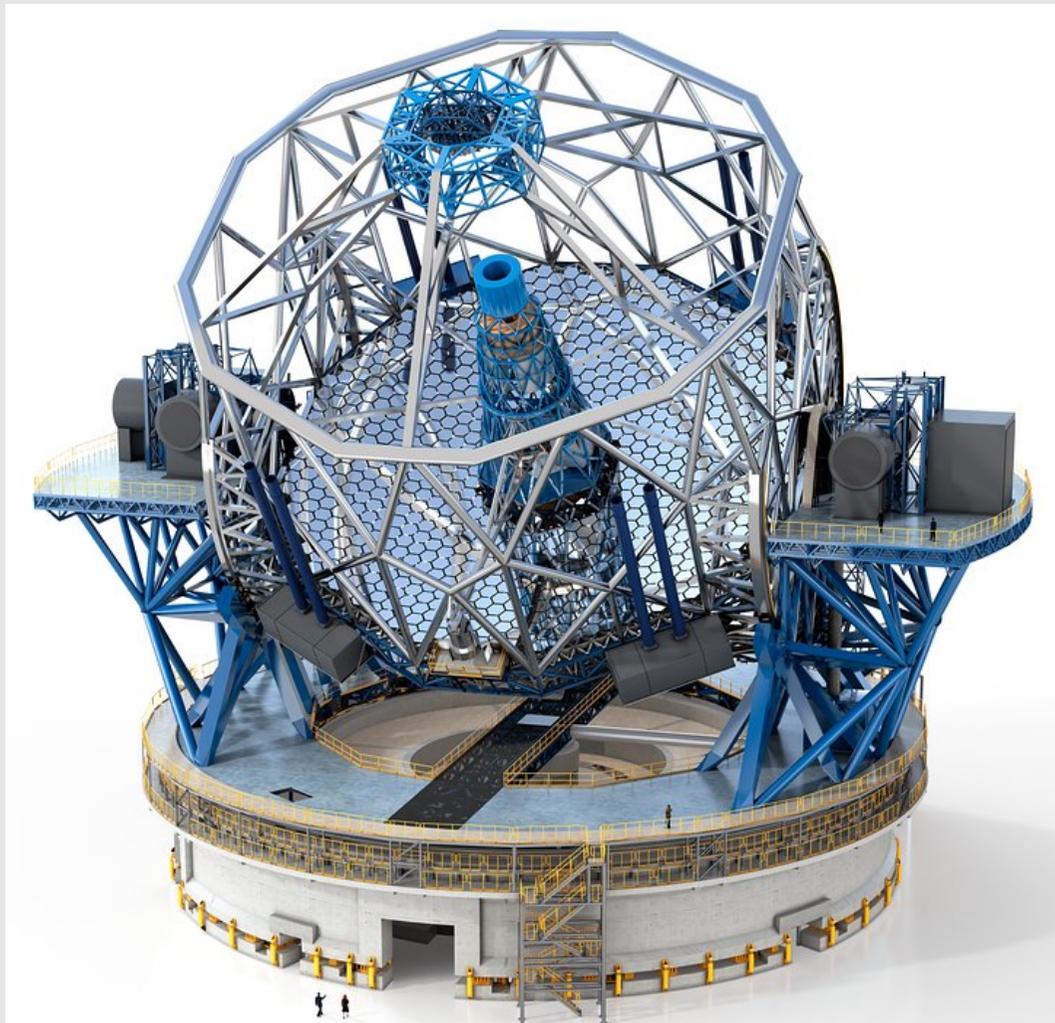
Giant Magellan Telescope



Large Synoptic Survey Telescope

# Das ELT: Überblick

- Neuartiges optisches Design mit 5 Spiegeln und adaptiver Optik
- Segmentierter Hauptspiegel mit 798 Segmenten



## Hauptspiegel (M1)

39-m  
Konkav – Aspherisch f/0.9  
Segmentiert (798 Segmente)  
Aktiv + Segmentform  
kontrolliert



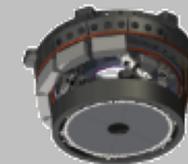
## Sekundärspiegel (M2)

4-m  
Konvex Aspherisch f/1.1  
Passiv + Positionskontrolle



## Tertiärspiegel (M3)

4-m – Konkav – Aspherisch f/2.6  
Aktiv + Positionskontrolle



## M4 Einheit

2.4-m  
Flach  
Segmentiert (6 Petale)  
Adaptiv + Positionskontrolle



## M5 Einheit

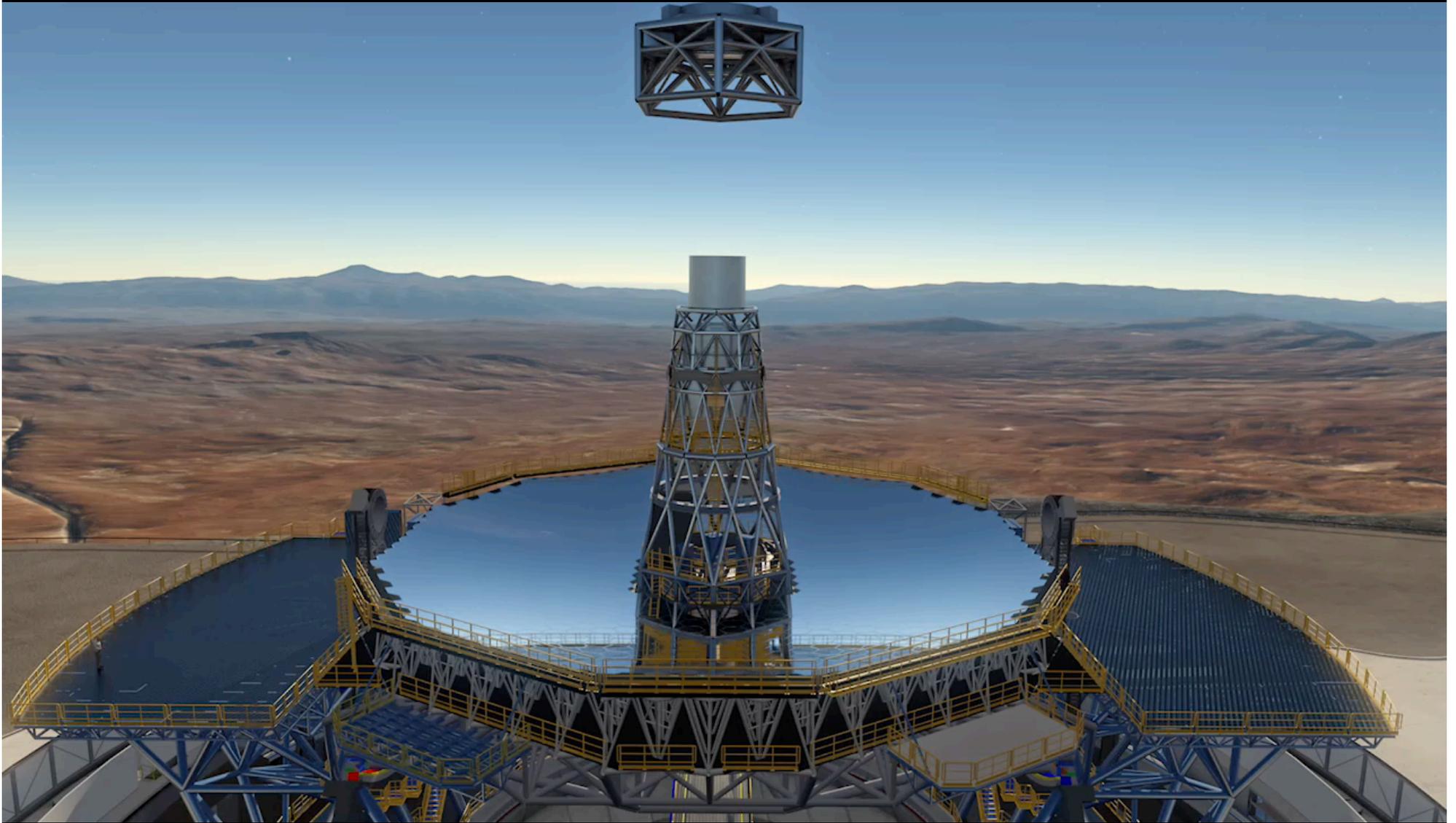
2.7x2.1-m  
Flach  
Passiv + Schnelles Tip/Tilt



## Laser Guide Star Units

Laser Quellen + Laser  
Beacons Formierung und  
Ausstrahlung

# Die Optik des ELT



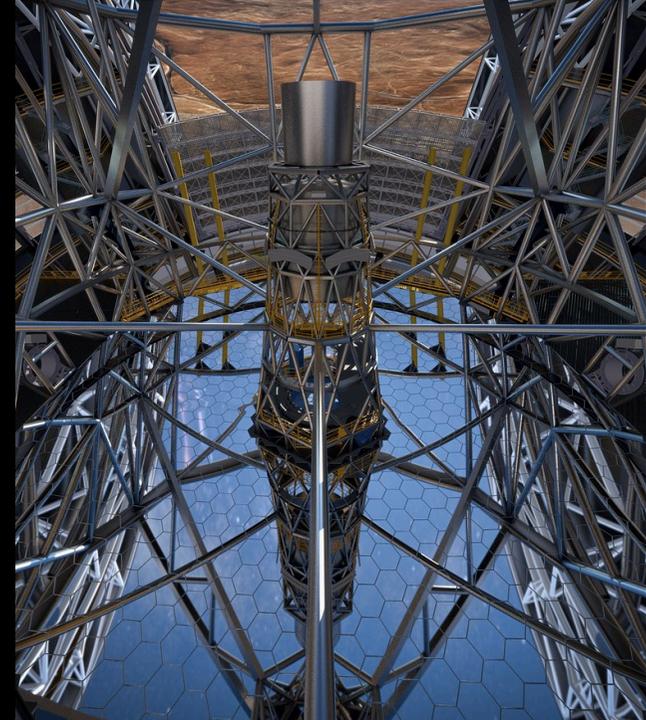
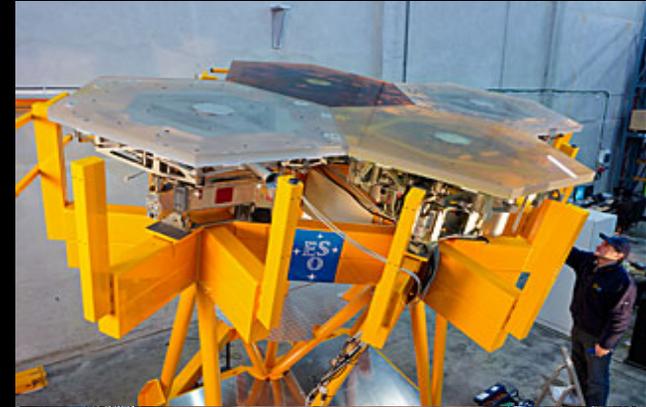
# Im Bau auf Armazones



# Status Oktober 2019



# ELT Hauptspiegel



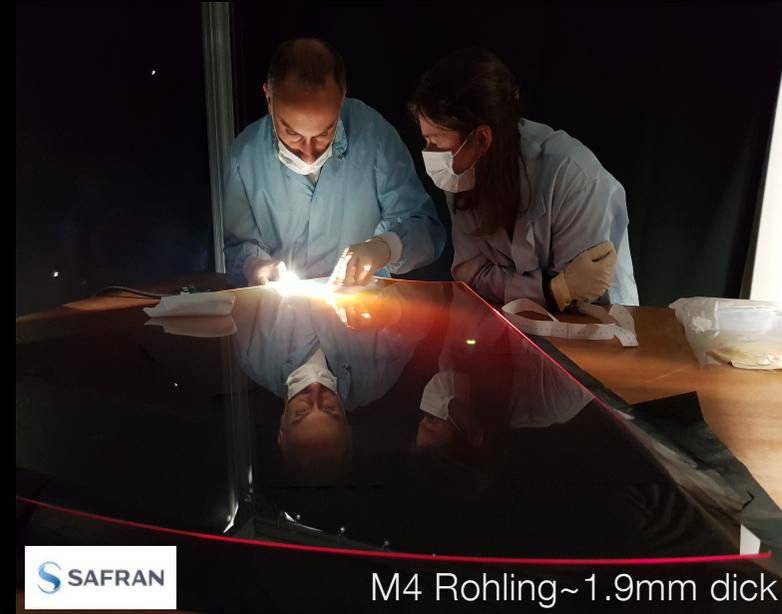
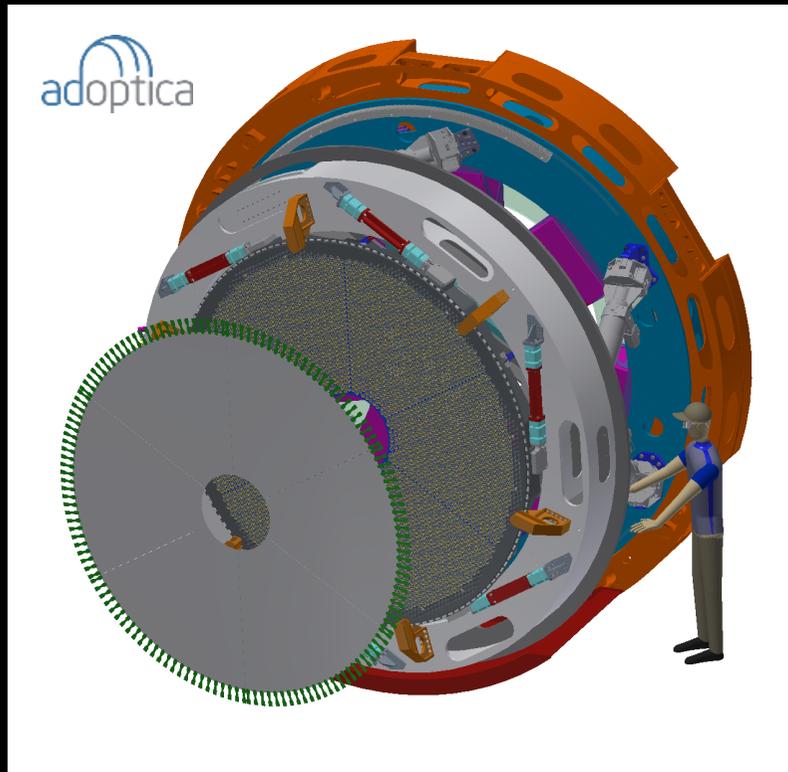
# ELT Sekundarspiegel

## Rohling im Dezember 2018 fertiggestellt



# ELT M4 Spiegel

## Adaptiver Spiegel



M4 Rohling ~1.9mm dick



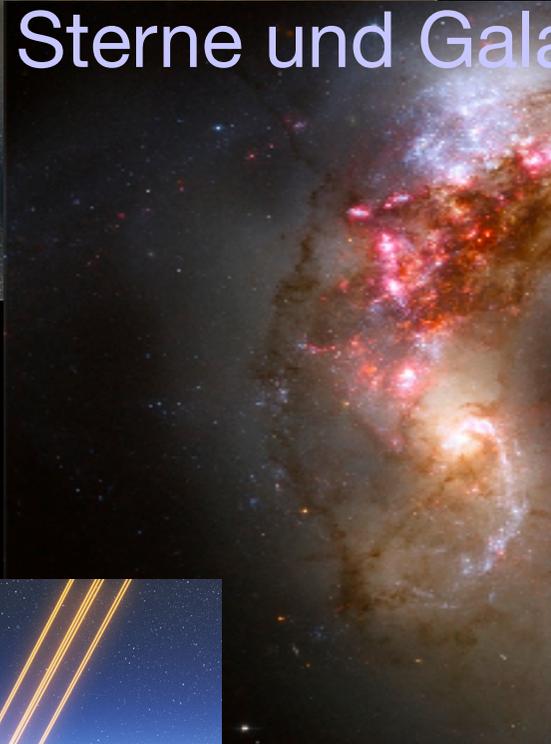
Referenzkörper aus SiC

Planeten und Sterne

Wissenschaftliche  
Pläne

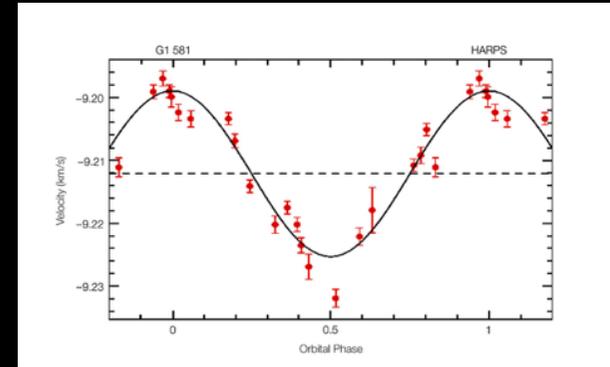
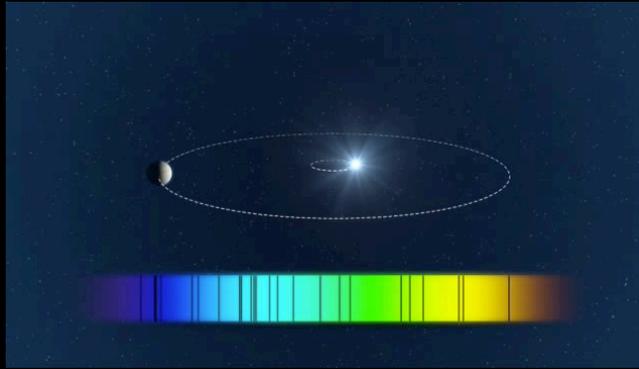
Sterne und Galaxien

Galaxien, Kosmologie und  
Fundamentale Physik

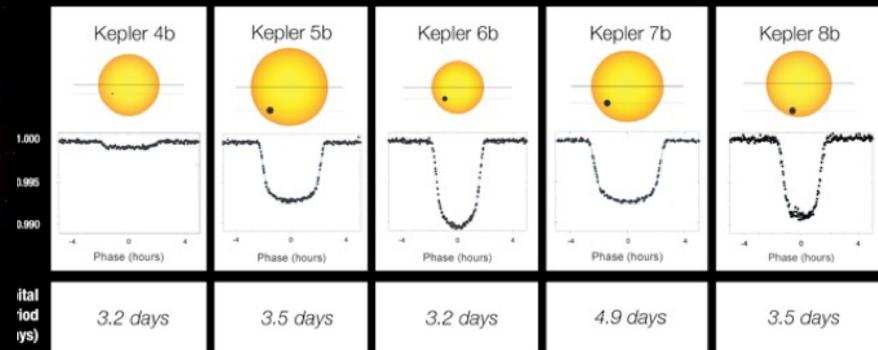
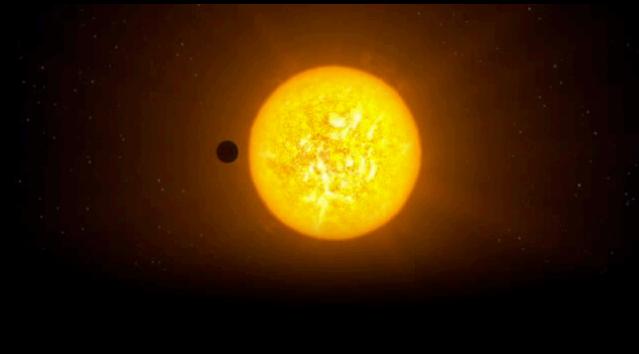


# Entdeckung von Exoplaneten

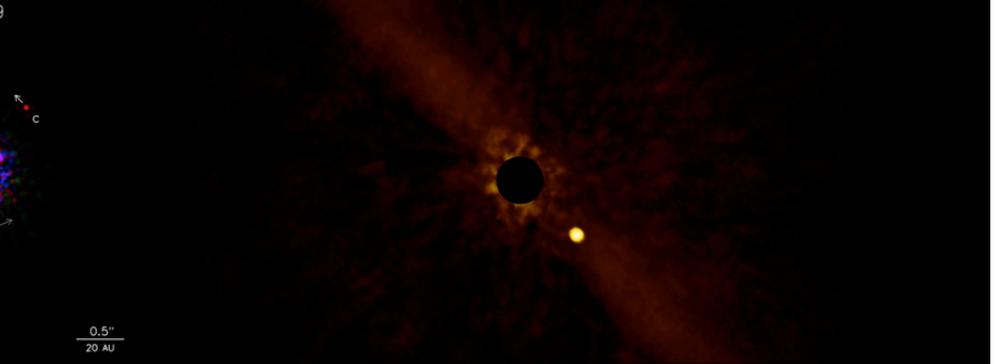
Radialgeschwindigkeit



Sternbedeckung

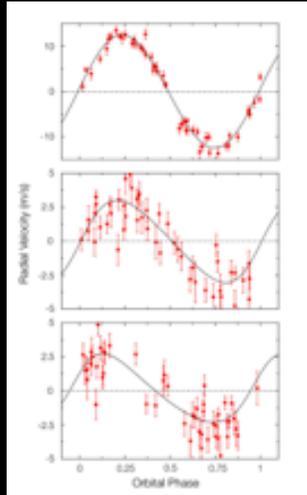


Abbildung



Radialgeschwindigkeit

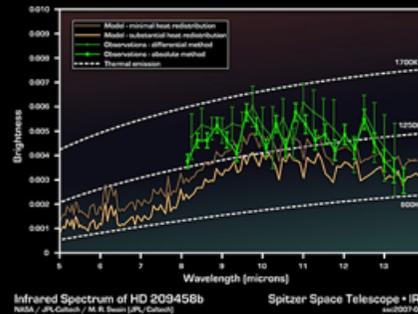
587 Exoplaneten



Massenverhältnis Stern-Planet  
Indirekte Methode

Sternbedeckung

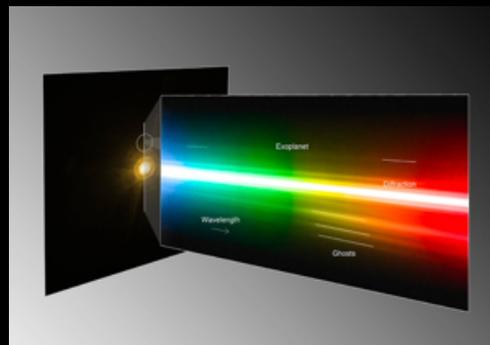
2650 Exoplaneten



Radius und Dichte der Planeten  
Planeten Atmosphären

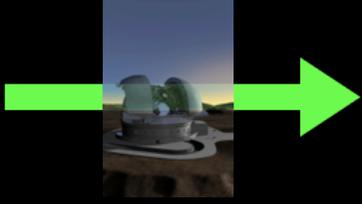
Abbildung

11 Exoplaneten



Aussichtsreichste Methode  
Atmosphären von erdähnlichen  
Planeten zu studieren

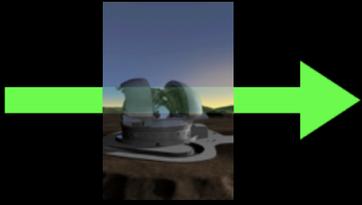
Radialgeschwindigkeit



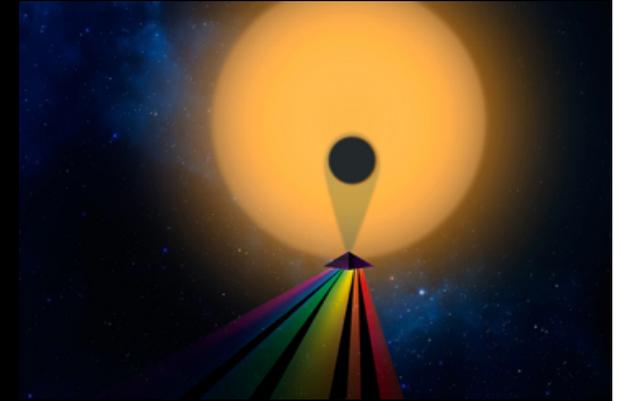
Entdeckung von erdähnlichen Planeten in der bewohnbaren Zone



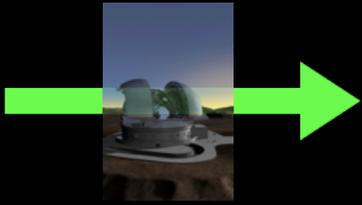
Sternbedeckung



Spektren der Atmosphären in Transmission



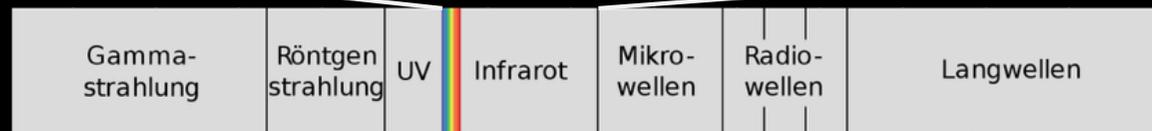
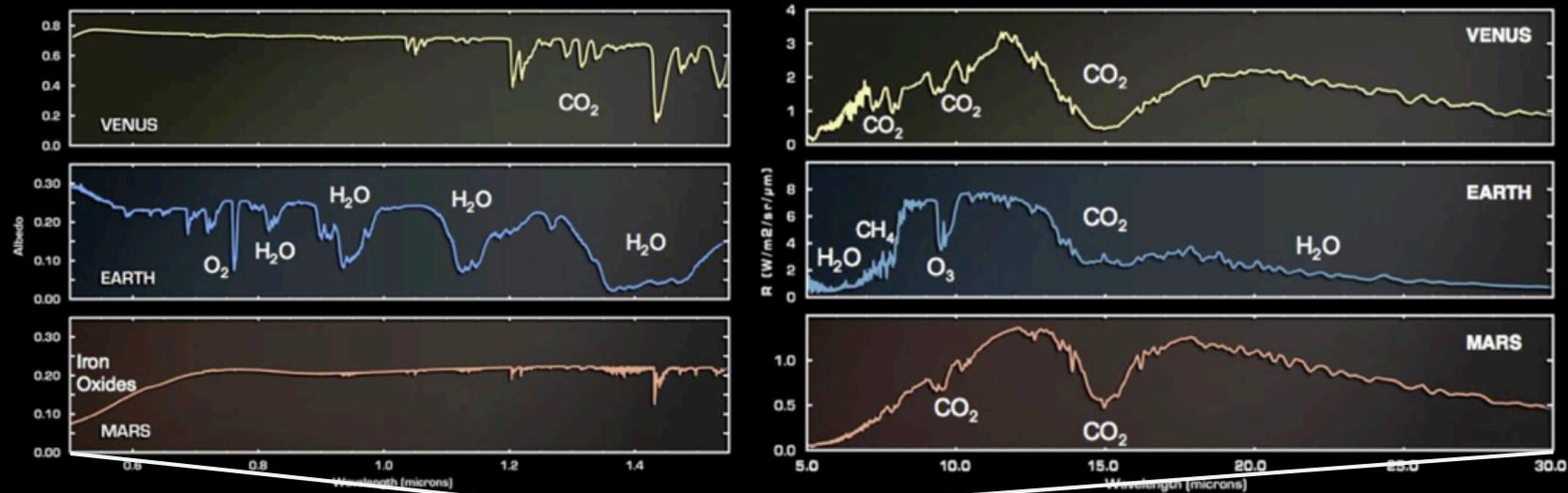
Abbildung



Spektren der Atmosphären aller Planeten innerhalb von ca. 30 Lichtjahren in Reflexion



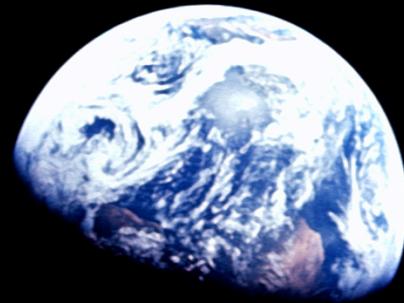
# Biosignaturen in Atmosphären



Idealerweise sollten Biosignaturen

- nicht natürlich (abiotisch) vorkommen
- nur durch biologische Prozesse entstehen
- starke Spektralsignaturen aufweisen

Beste Kandidaten O<sub>2</sub> (und O<sub>3</sub>) und N<sub>2</sub>O (Lachgas)

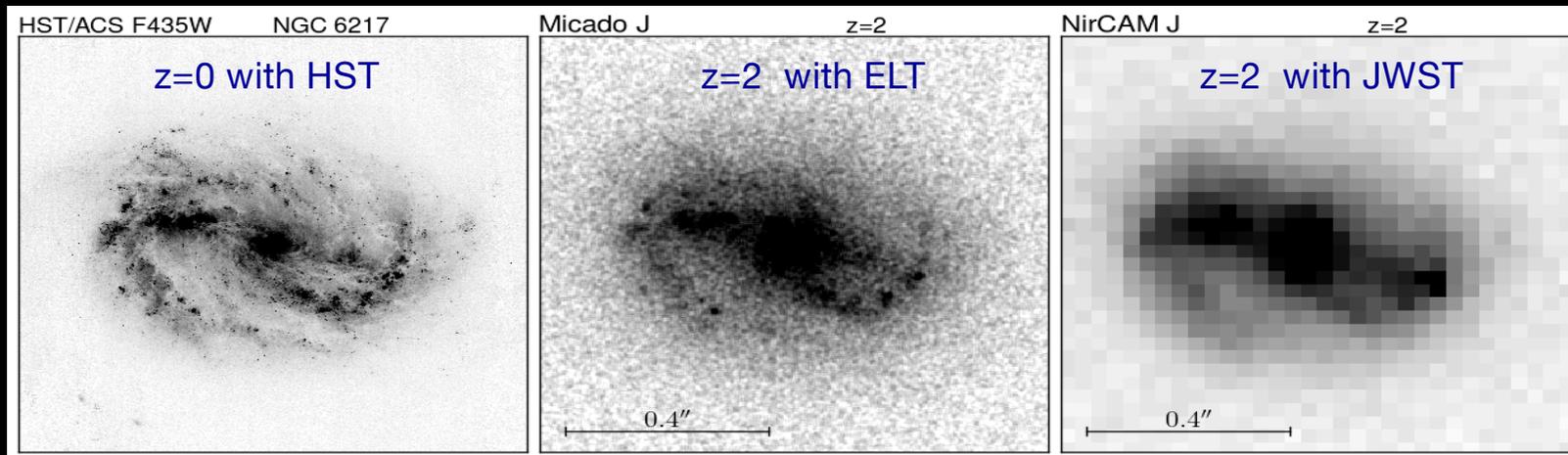


Nicht nur die Entdeckung sondern die Charakterisierung von fremden Erden sind Ziele des ELTs

Das ELT wird in 10 bis 15 Jahren Leben jenseits des Sonnensystems entdecken können.

# ELT – Wissenschaftliche Ziele

- Galaktisches Zentrum
  - **Gravitationsgesetz**
- Sterne in nahen Galaxien
  - **bisher nur integriertes Licht**
- Galaxienentwicklung



# Das ELT

