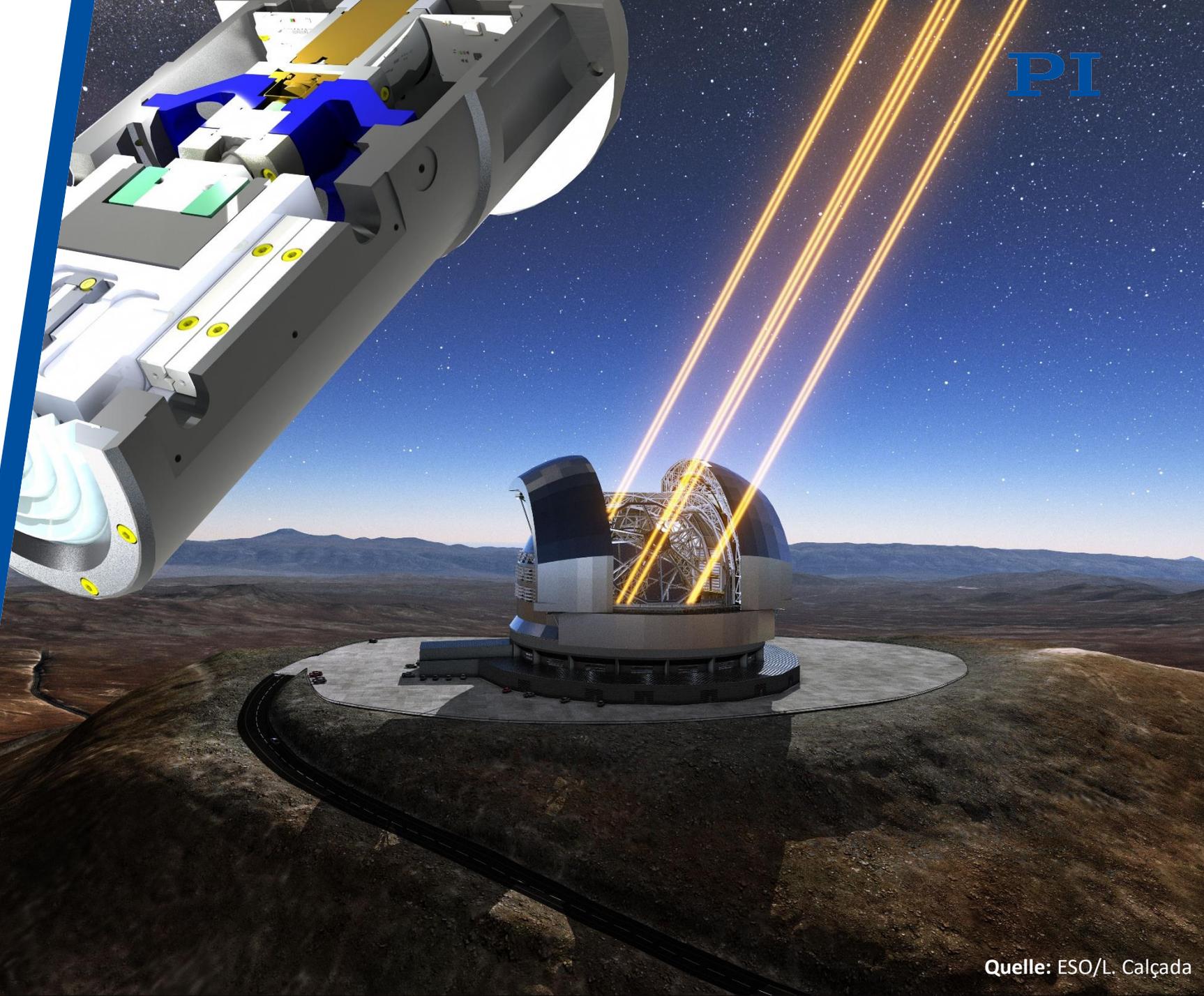


PHYSIK INSTRUMENTE

# Nanopositionierung im Extremely Large Telescope (E-ELT)

Dr. Thomas Haase  
Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG  
Karlsruhe  
11.11.2021





120 M

100 M

80 M

60 M

40 M

20 M

Allianz  Arena

Quelle: ESO

# Extremely Large Telescope

## Bauarbeiten

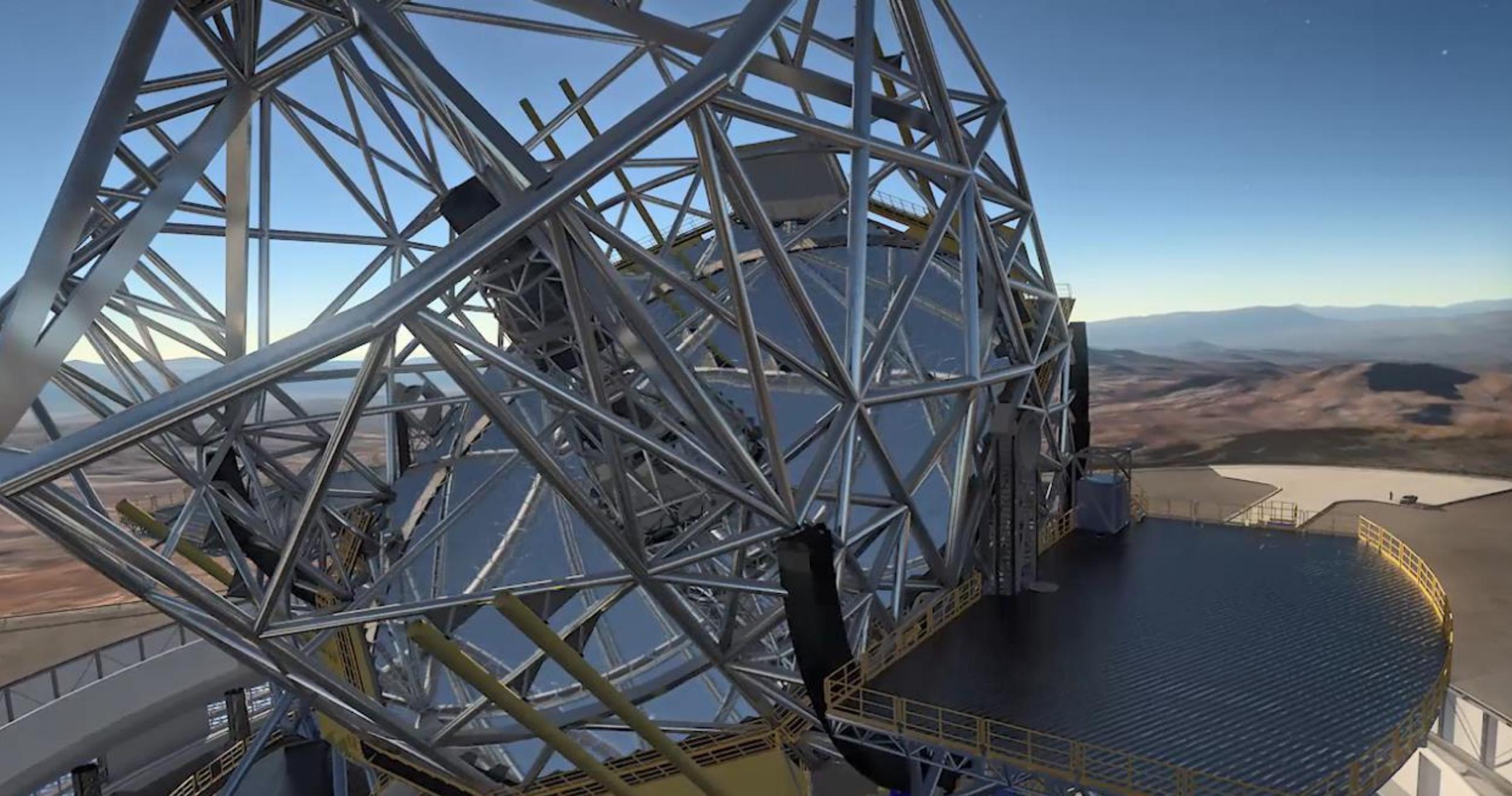
- Standort: chilenische Atacamawüste
- Cerro Armazones
  - ca. 3000m ü.N.N.
  - 20km von Paranal
- Bergkuppe: 30m weggesprengt
- Überschneidende Infrastruktur mit dem VLT
- „First Light“ 2025 (technischer Arbeitsbeginn)
  - Covid19
  - Schwierige Arbeitsbedingungen
  - Daher vermutlich erneute Verschiebung

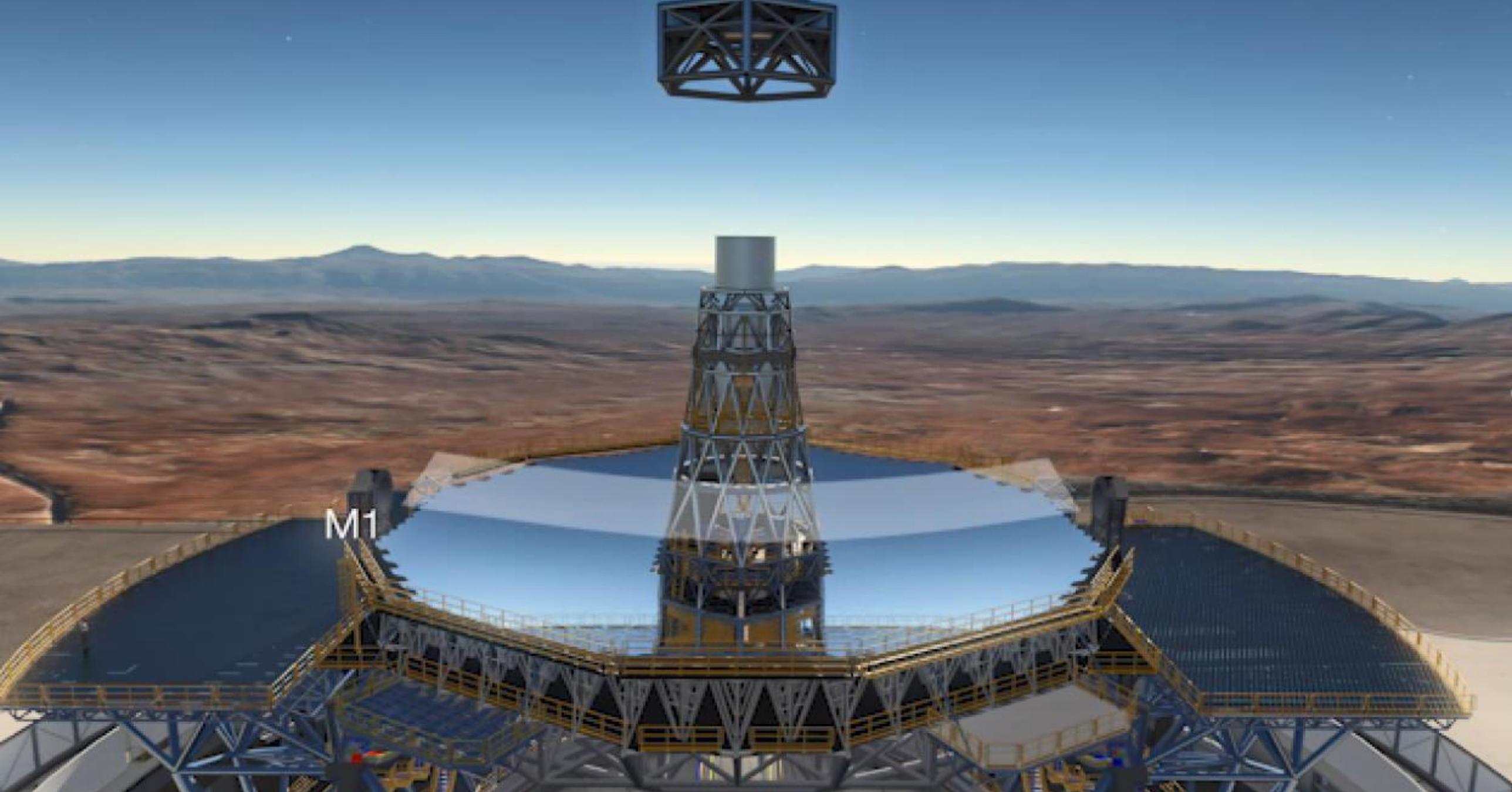
Quelle: ESO/G. Hüdepohl ([atacamaphoto.com](http://atacamaphoto.com))

Quelle: ESO

Quelle: ESO/P. Lapeyre





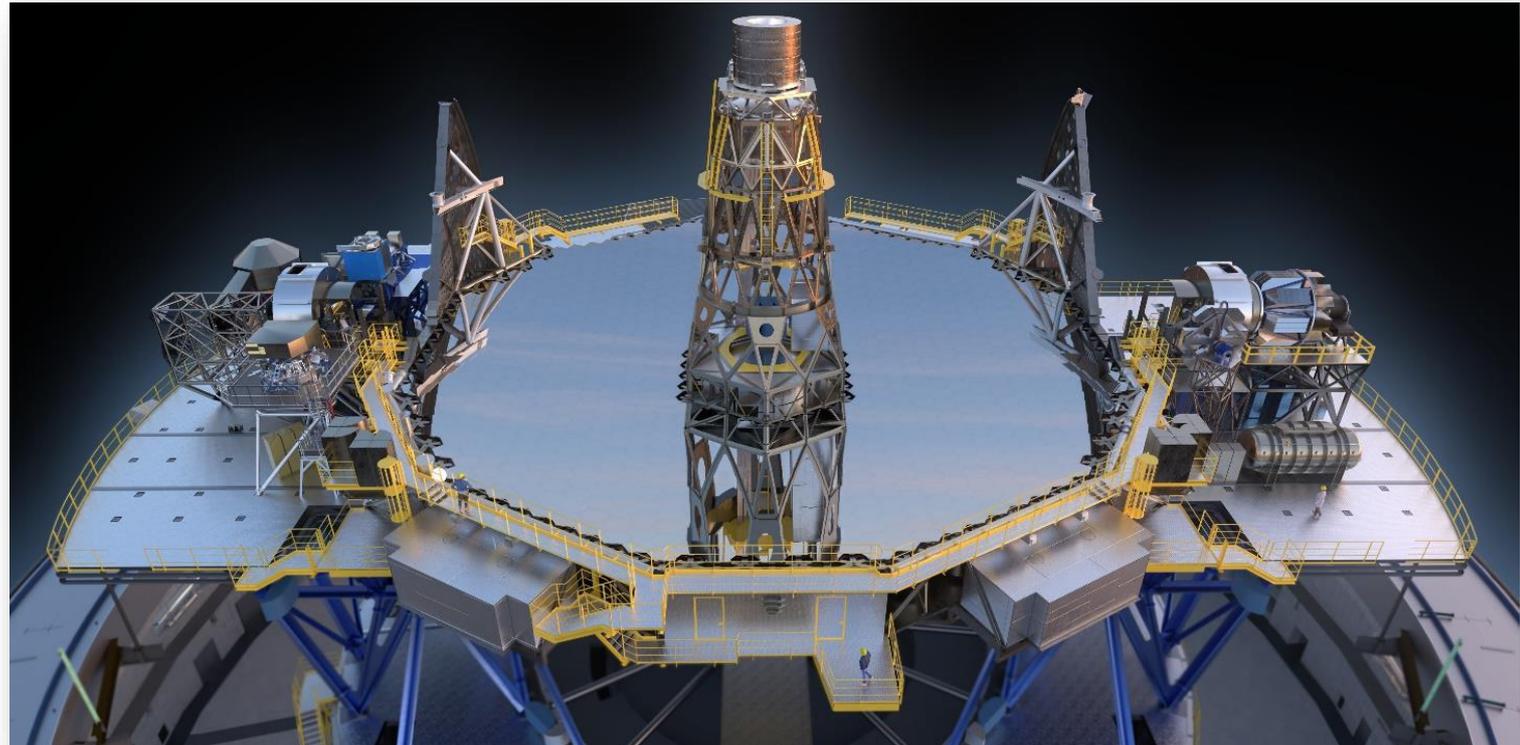


M1

# Extremely Large Telescope

## M1 Hauptspiegel

- 39m Durchmesser
- Mehr Spiegelfläche als alle anderen Spiegelteleskope der Welt zusammen
- Starke M1-Hauptspiegelbeugung

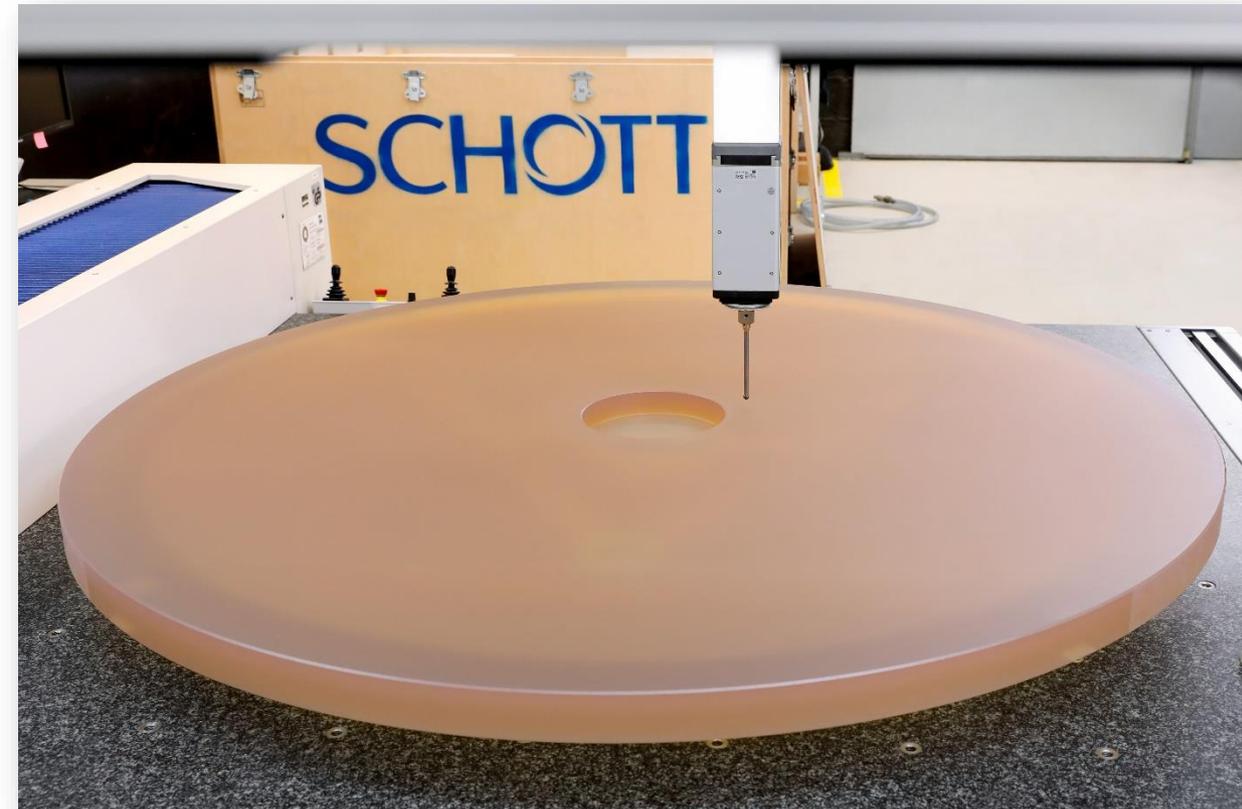


Quelle: ESO

# Extremely Large Telescope

## M1 Hauptspiegel

- 39m Durchmesser
  - Mehr Spiegelfläche als alle anderen Spiegelteleskope der Welt zusammen
  - Starke M1-Hauptspiegelbeugung
- Spiegel
  - Nicht monolithisch (monolithische Spiegel sind dicker und damit robuster/stabiler)
  - 798 individuelle Spiegel: Leichter, dünner – vibrationsempfindlich, Verformung
  - Mainz – bei Schott AG gegossen (Ceramisch – Ceranfeld): Zerodur

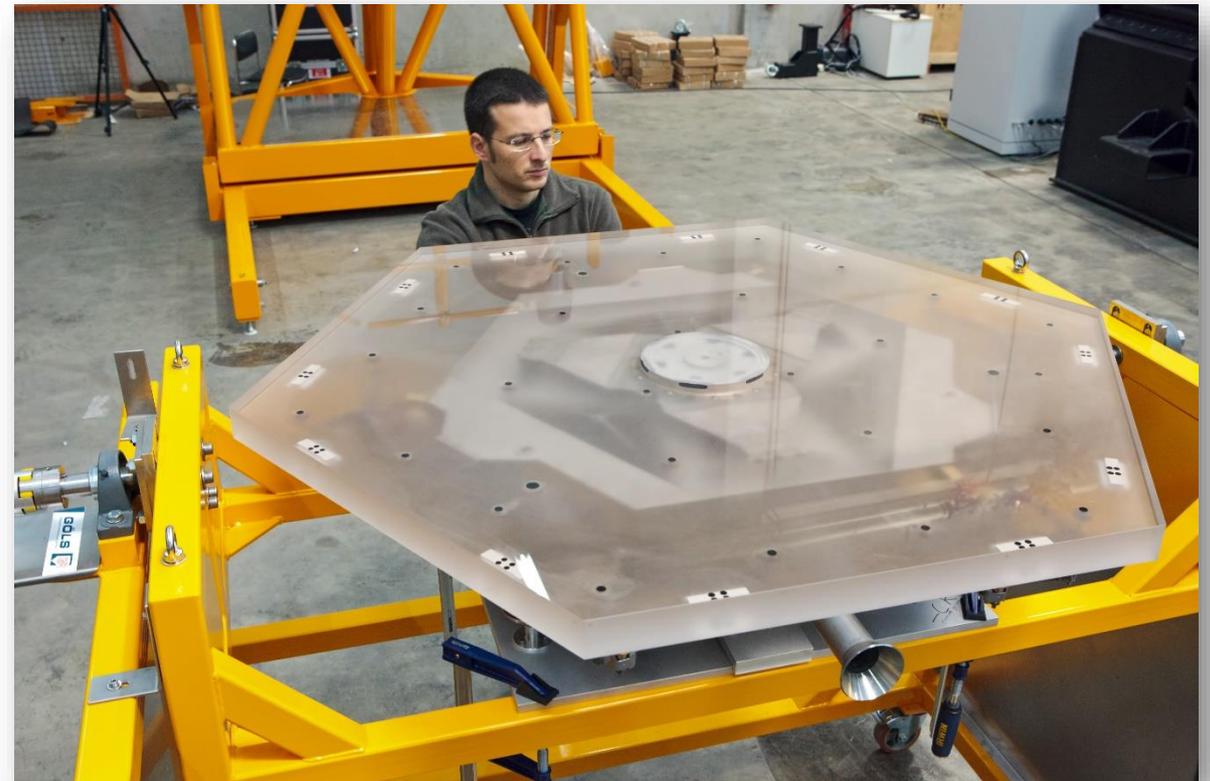


Quelle: SCHOTT/ESO

# Extremely Large Telescope

## M1 Hauptspiegel

- 39m Durchmesser
  - Mehr Spiegelfläche als alle anderen Spiegelteleskope der Welt zusammen
  - Starke M1-Hauptspiegelbeugung
- Spiegel
  - Nicht monolithisch (monolithische Spiegel sind dicker und damit robuster/stabiler)
  - 798 individuelle Spiegel: Leichter, dünner – vibrationsempfindlich, Verformung
  - Mainz – bei Schott AG gegossen (Ceramisch – Ceranfeld): Zerodur
  - Paris: in Wabenform geschnitten, auf Basisplatte montiert, geschliffen



# Extremely Large Telescope

## M1 Hauptspiegel

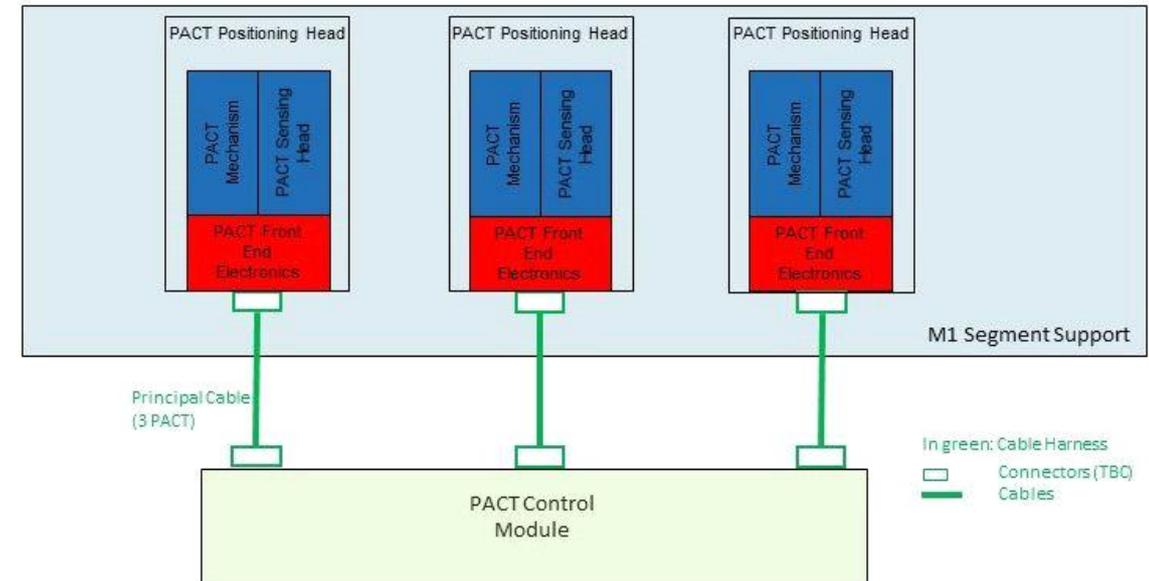
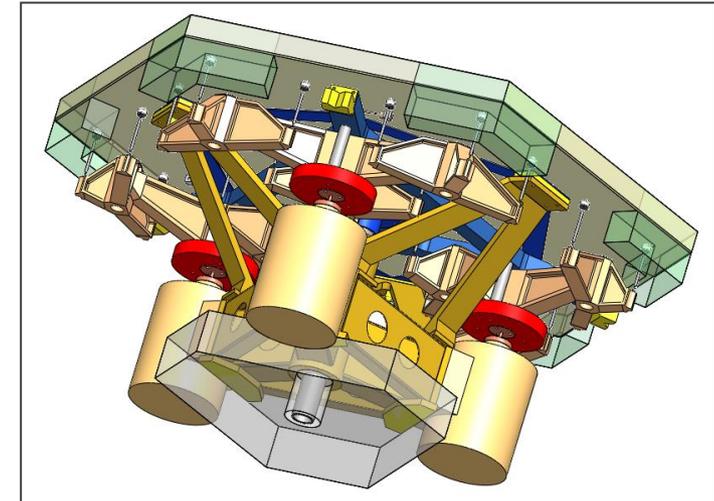
- 39m Durchmesser
  - Mehr Spiegelfläche als alle anderen Spiegelteleskope der Welt zusammen
  - Starke M1-Hauptspiegelbeugung
- Spiegel
  - Nicht monolithisch (monolithische Spiegel sind dicker und damit robuster/stabiler)
  - 798 individuelle Spiegel: Leichter, dünner – vibrationsempfindlich, Verformung
  - Mainz – bei Schott AG gegossen (Ceramisch – Ceranfeld): Zerodur
  - Paris: in Wabenform geschnitten, auf Basisplatte montiert, geschliffen
  - Teststand in München: Steuerung / Ansteuerung



# Extremely Large Telescope

## M1 Hauptspiegel

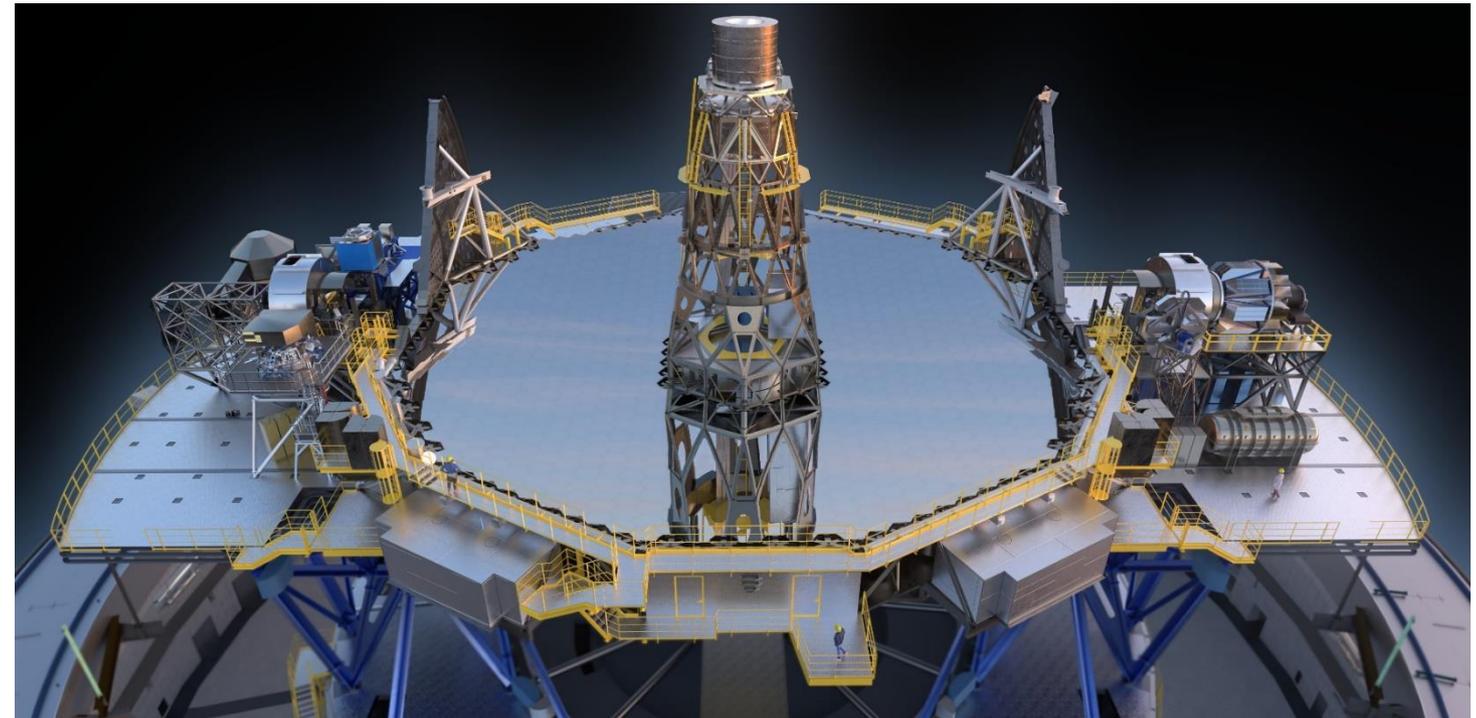
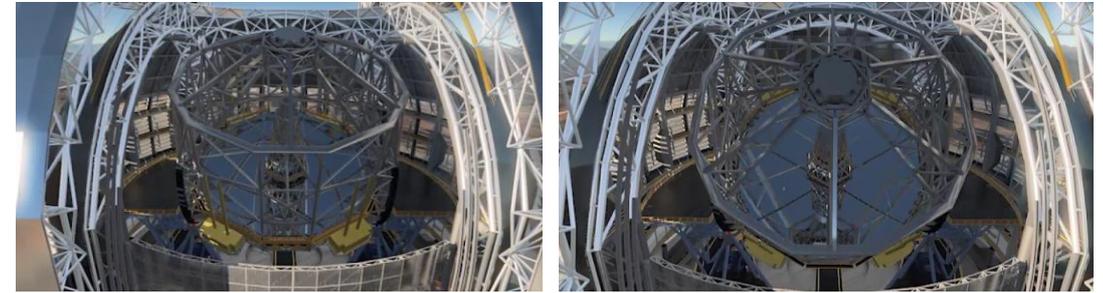
- 39m Durchmesser
  - Mehr Spiegelfläche als alle anderen Spiegelteleskope der Welt zusammen
  - Starke M1-Hauptspiegelbeugung
- Spiegel
  - Nicht monolithisch (monolithische Spiegel sind dicker und damit robuster/stabiler)
  - 798 individuelle Spiegel: Leichter, dünner – vibrationsempfindlich, Verformung
  - Mainz – bei Schott AG gegossen (Ceramisch – Ceranfeld): Zerodur
  - Paris: in Wabenform geschnitten, auf Basisplatte montiert, geschliffen
  - Teststand in München: Steuerung / Ansteuerung
  - Jeder Spiegel ist beweglich



# Notwendigkeit Adaptiver Optik am M1-Spiegel

## Anforderungen:

- Spiegelverformung beim Kippen
  - Bis 10mm
  - Schwerkraft-Effekt direkt kompensieren
  
- Veränderliches Druckfeld
  - $\mu\text{m}$ -Bereich
  - durch Wind erregte strukturmechanische Schwingungen (Wind ca. 11Hz)
  
- Schockbelastung
  - z.B Laufen neben dem Spiegel
  - Ab 1N
  
- **Alignment der Spiegel untereinander**



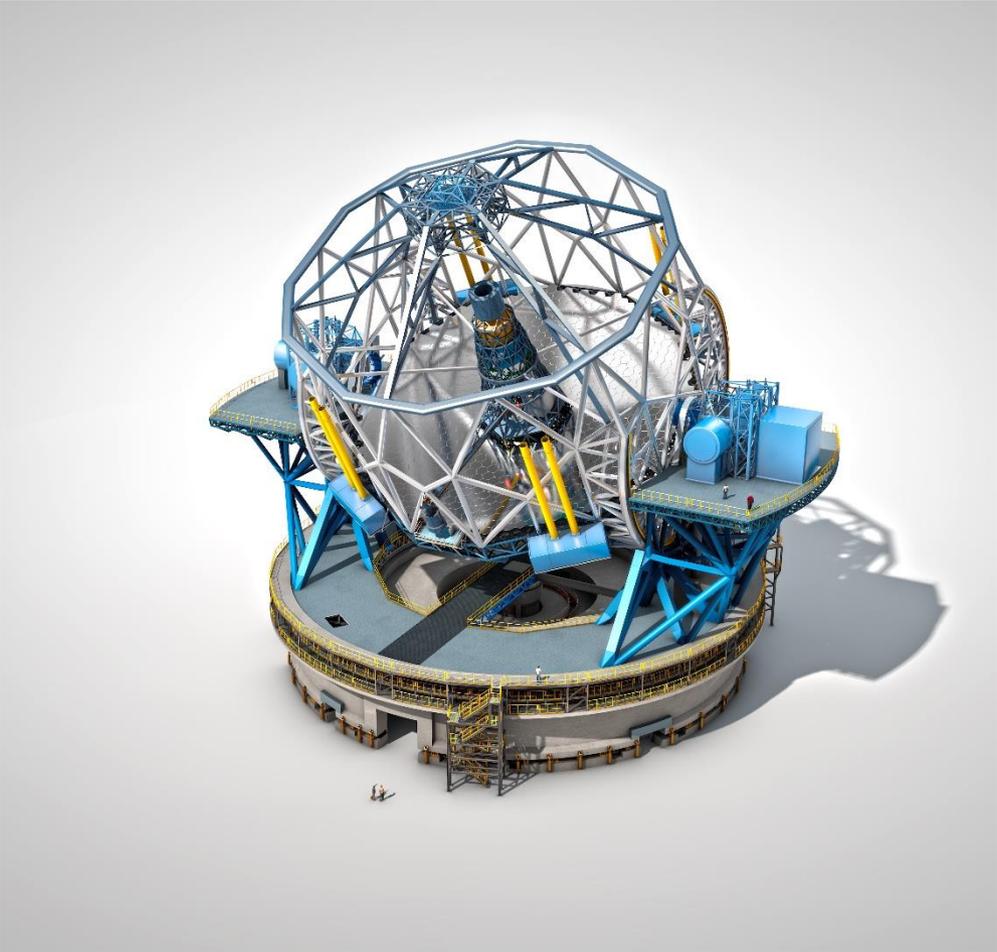
Quelle: ESO  
Quelle: ESO/ACe Consortium

# Extremely Large Telescope

## Spezifikationen an die Positioniersysteme der Spiegelsegmente

- Korrektur der M1-Rückenstrukturverbiegung → 10mm
- Kleinster Tracking Error → 2nm RMS
- Positioniergeschwindigkeiten in verschiedenen Modi → 100µm/s to 2nm/s
- Hohe Zuverlässigkeit im CL-Betrieb: 12h/Tag → MTBF > 350000h
- Lastüberlebensbedingungen im Bereich [-3,5kN,+2.9kN]

$$\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^6$$



Quelle: ESO

# ELT

## M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

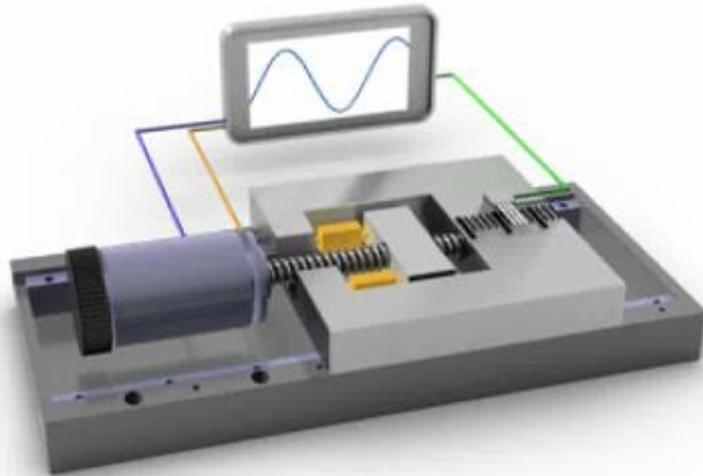
- Korrektur der M1-Rückenstrukturverbiegung → 10mm
- Kleinster Tracking Error → 2nm RMS
- Positioniergeschwindigkeiten in verschiedenen Modi → 100µm/s to 2nm/s
- Hohe Zuverlässigkeit im CL-Betrieb: 12h/Tag → MTBF > 350000h
- Lastüberlebensbedingungen im Bereich [-3,5kN,+2.9kN]

$$\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^6$$

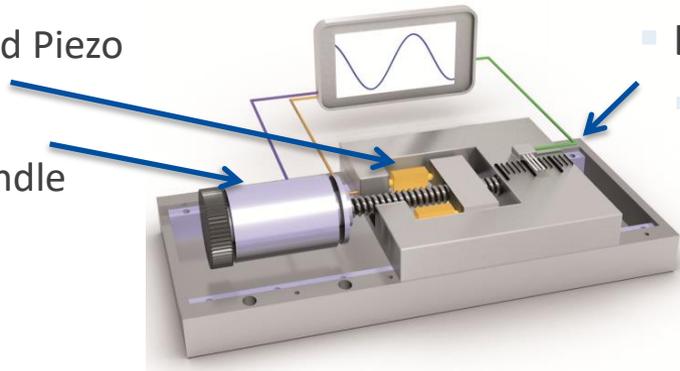


# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Funktionsweise

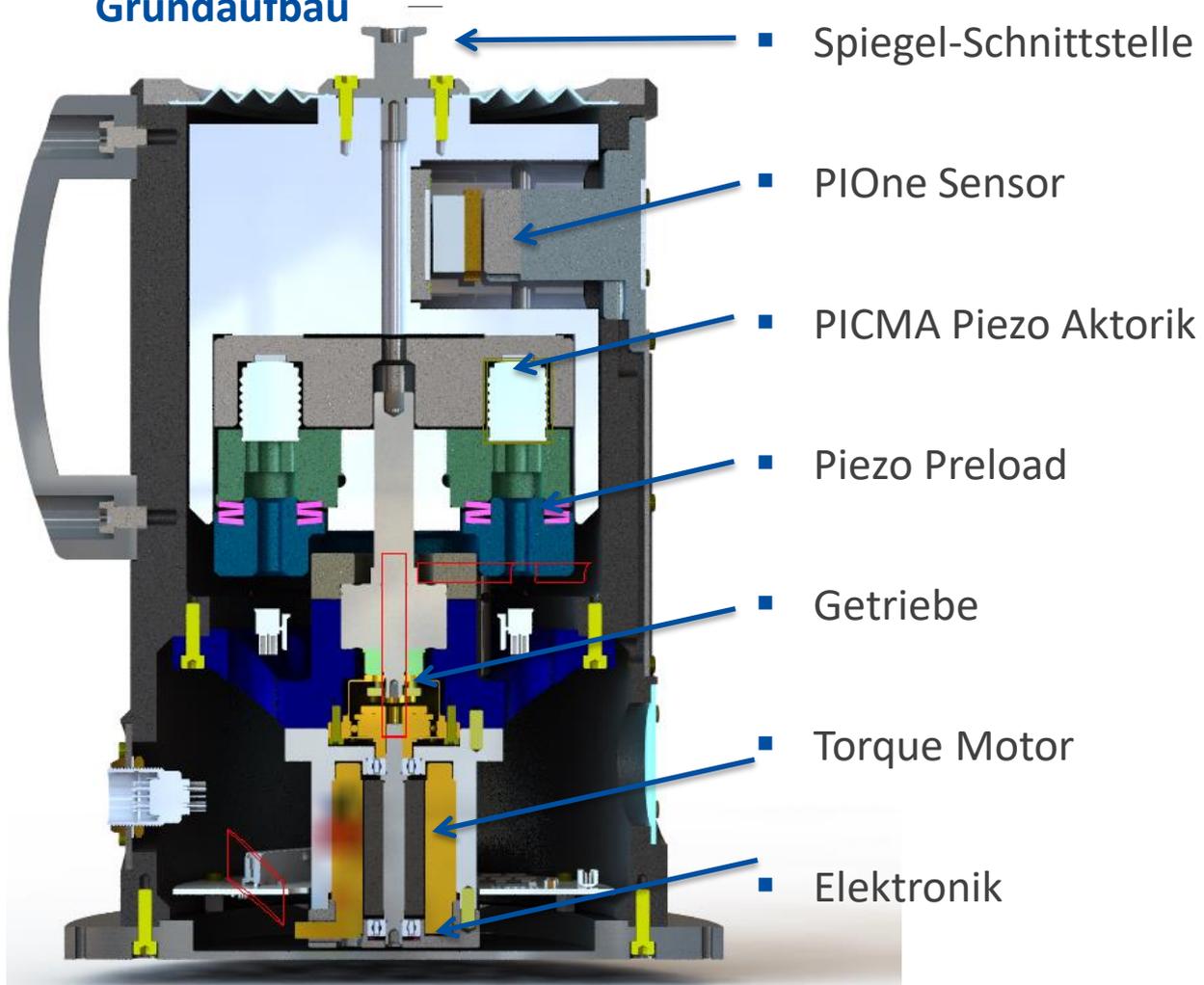


- Fine Stage
  - Encapsulated Piezo
- Coarse Stage
  - Motor / Spindle
- Linear Encoder
- PI-One



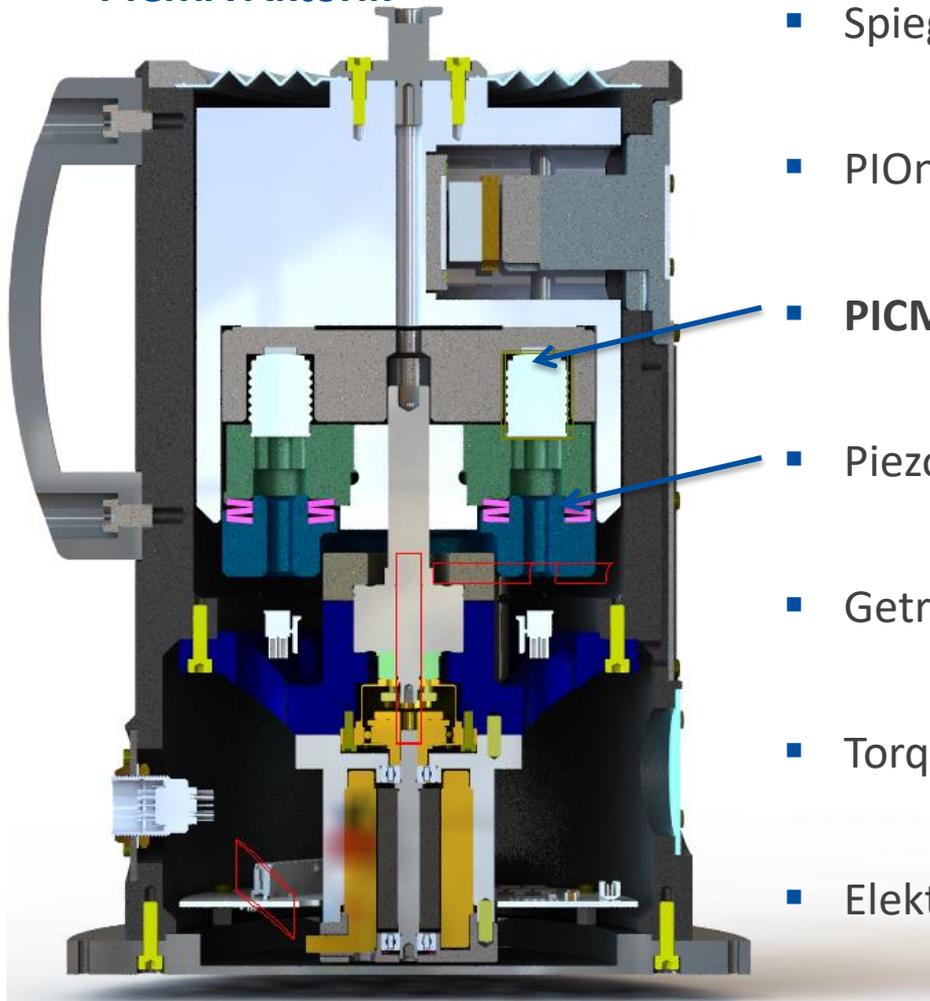
# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Grundaufbau



# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## PICMA Aktorik



- Spiegel-Schnittstelle
- PIONe Sensor
- **PICMA Piezo Aktorik**
- Piezo Preload
- Getriebe
- Torque Motor
- Elektronik

## P-88x.x5 Gekapselte PICMA® Stack Piezoaktoren

### Für raue Industrieumgebungen

- Wassergeschützte Vollkapselung
- Überlegene Lebensdauer
- Hohe Steifigkeit
- $\mu$ s-Ansprechzeit
- Sub-nm-Auflösung
- UHV-kompatibel bis  $10^{-9}$  hPa

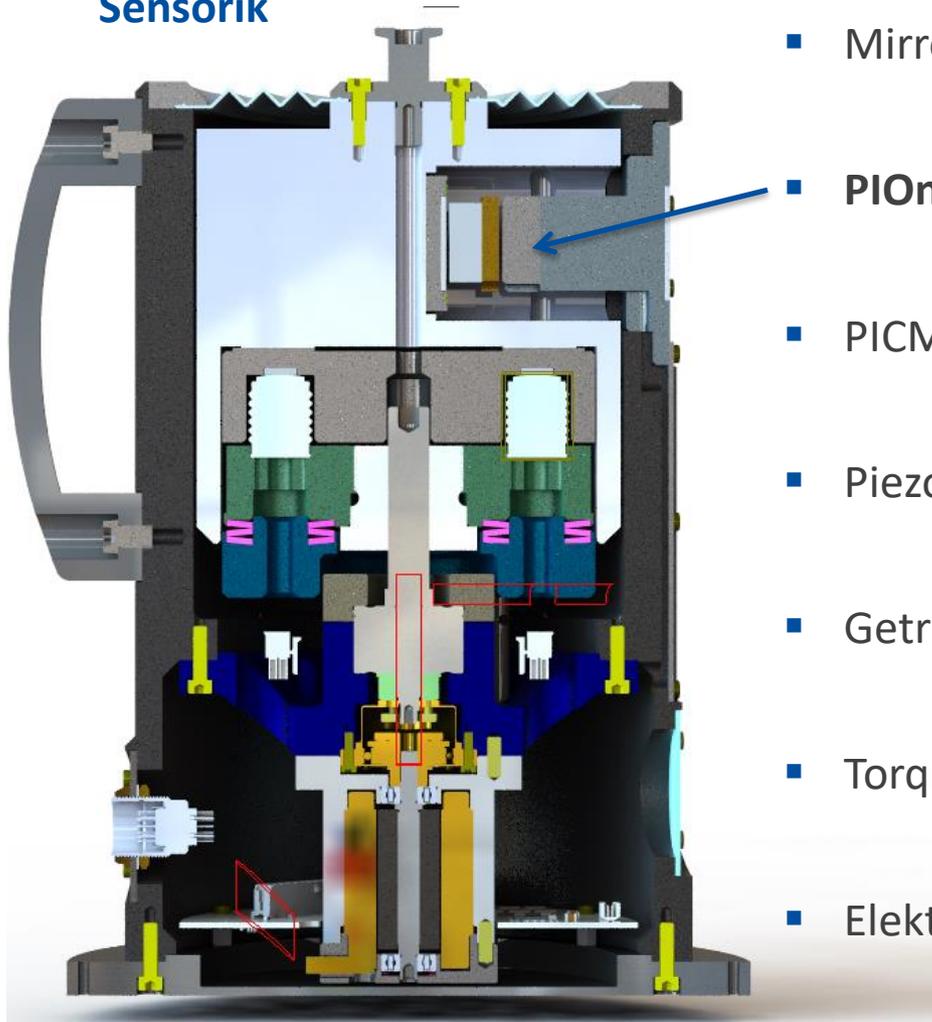


Gekapselte PICMA® Stack Aktoren können auch dann verwendet werden, wenn Öl, Spritzwasser oder dauerhaft hohe Luftfeuchtigkeit die Applikationsumgebung bestimmen. Die Piezoaktoren sind Inertgas umgeben.



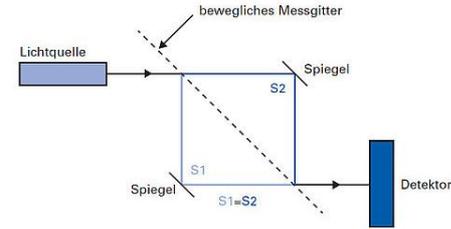
# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Sensorik

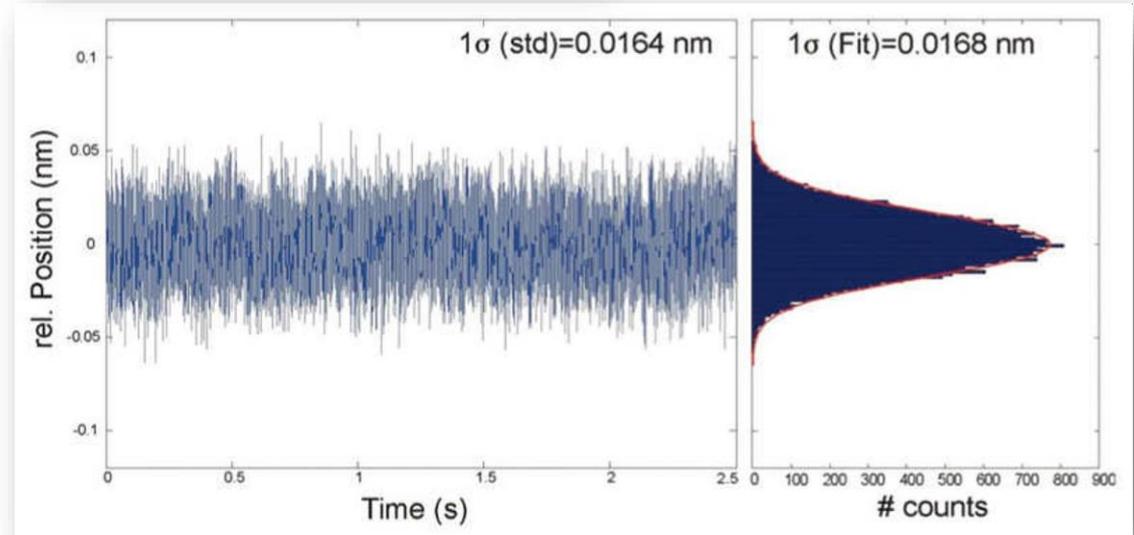
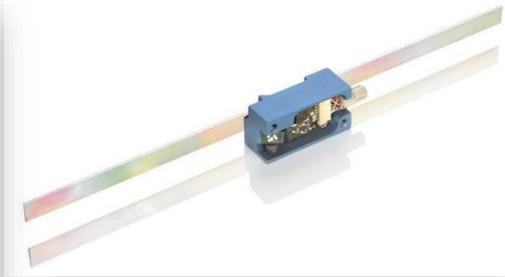


- Mirror Side Interface
- PIONe Sensor
- PICMA Piezo Actuator
- Piezo Preload
- Getriebe
- Torque Motor
- Elektronik

### Integriertes Mach-Zehnder-Interferometer

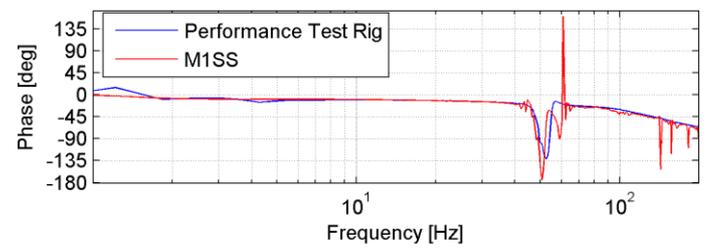
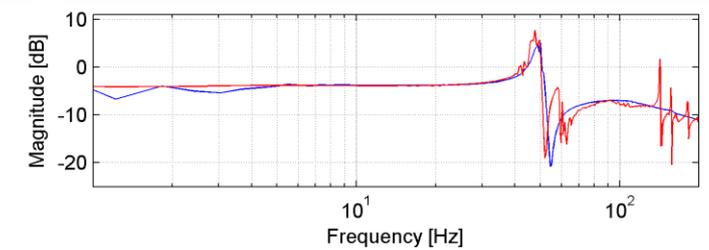
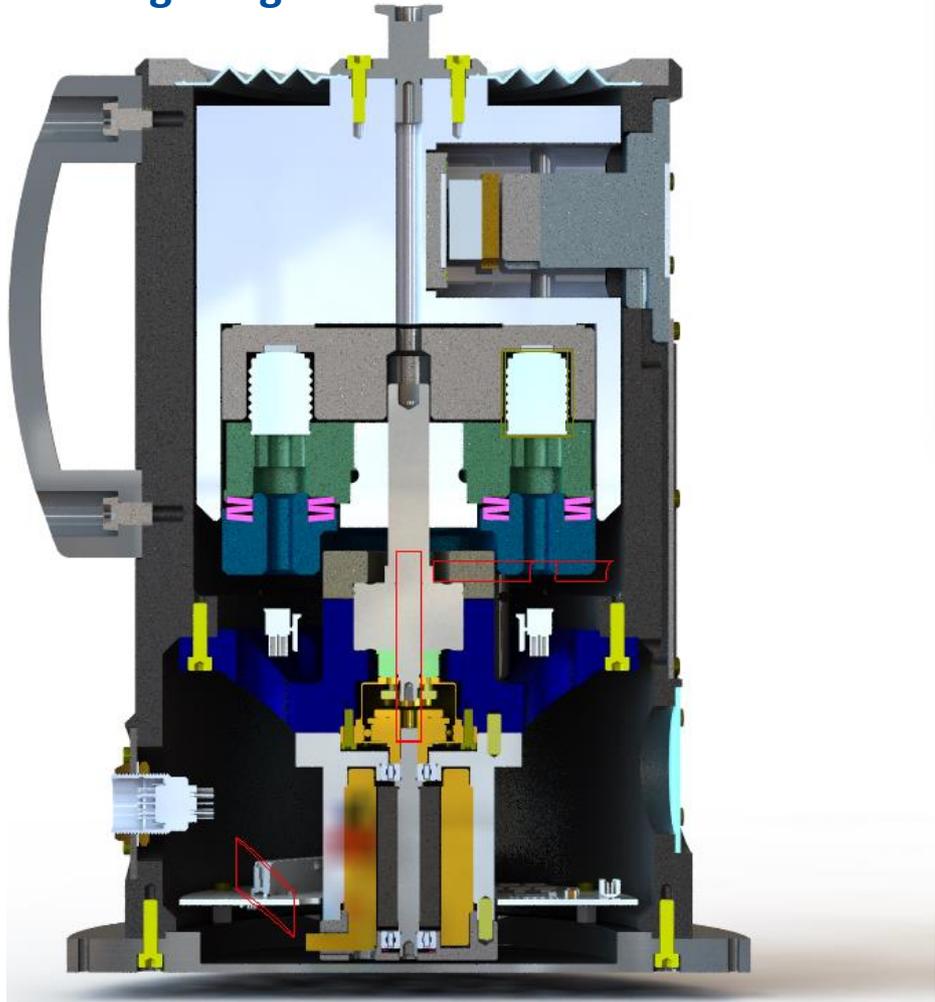


Ein aus einer Laserdiode einfallender Strahl wird bei Durchlauf zwischen zwei Gittern in zwei optische Strahlengänge aufgespalten und anschließend wieder vereint. Das dabei entstehende Interferenzmuster wird mit Photodioden detektiert und anschließend weiter verarbeitet.



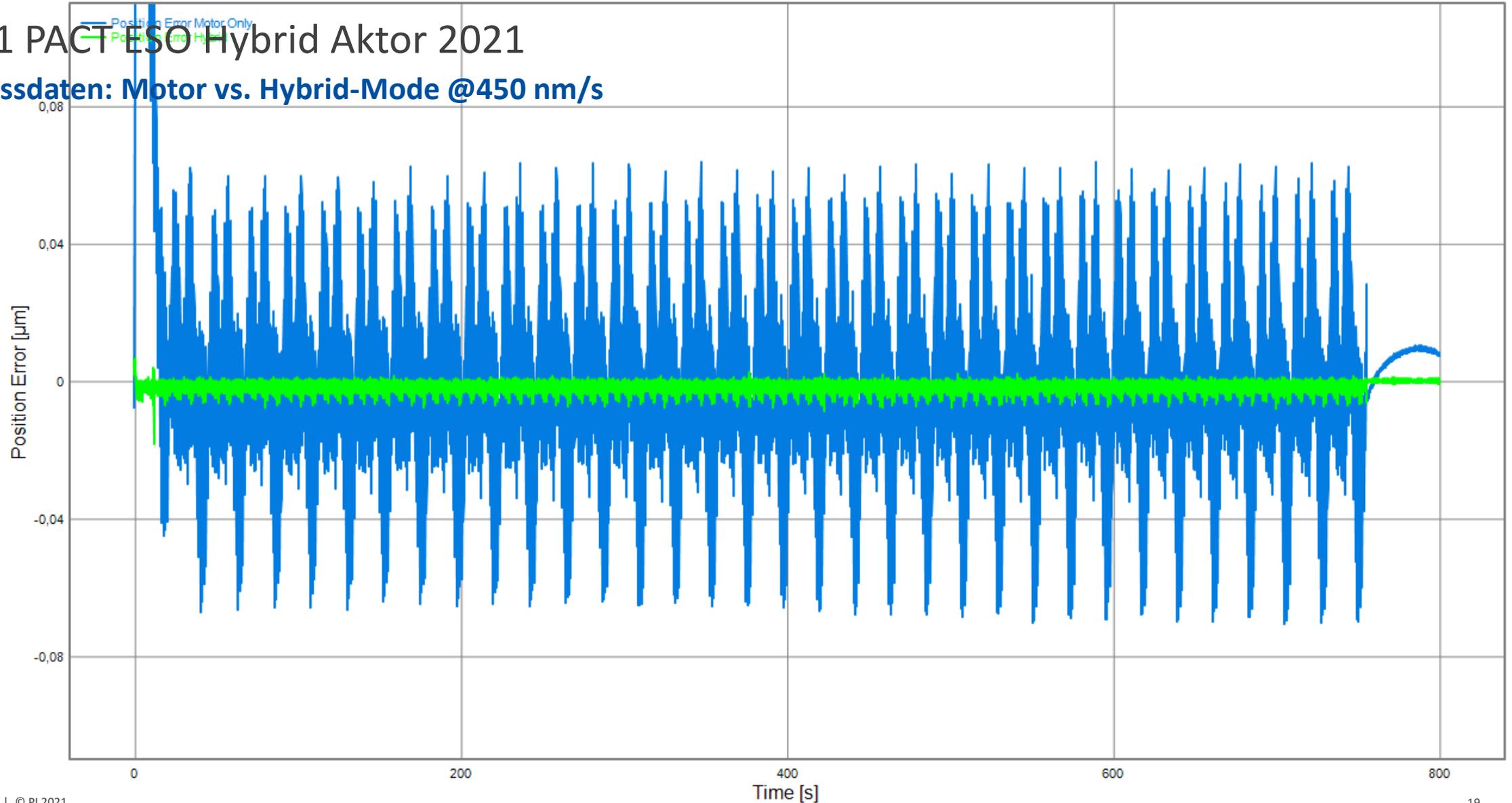
# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Regelungstechnik



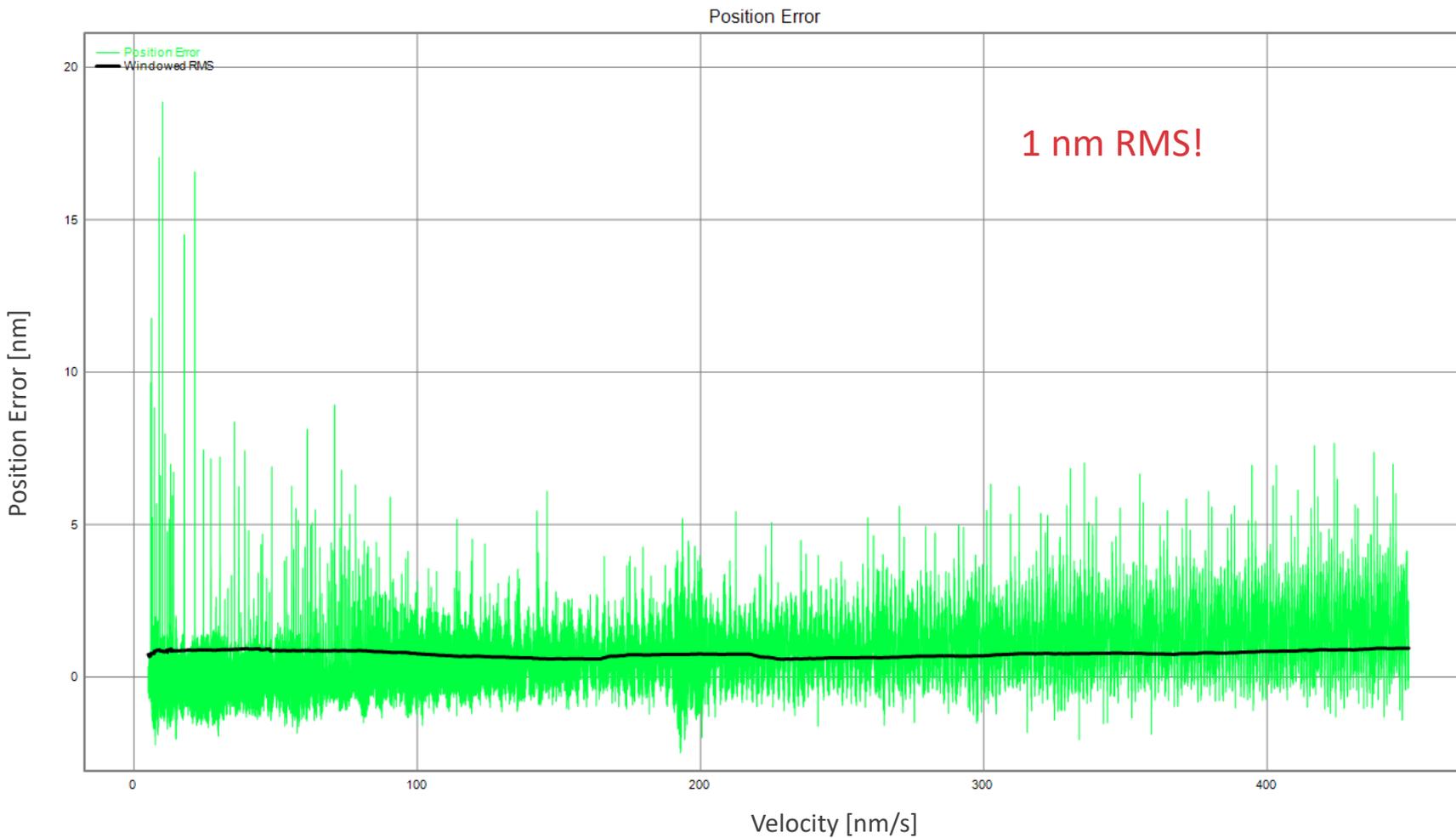
Position Error

M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021  
Messdaten: Motor vs. Hybrid-Mode @450 nm/s



# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Messdaten: Geschwindigkeits-Rampe



# M1 PACT ESO Hybrid Aktor 2021

## Fertigung



# Physik Instrumente

**Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG**

Auf der Römerstraße 1  
76228 Karlsruhe  
Germany

Phone +49 721 4846-0

E-mail [info@pi.de](mailto:info@pi.de)

Please visit us at: [www.physikinstrumente.de](http://www.physikinstrumente.de)



Blog

Dr. Thomas Haase

©2021 Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

The use of these texts, pictures and drawings is only permitted with the permission of PI and only permitted with reference to the source.

