

Kosmologische Entfernungsberechnungen mit Distance-Ladder-Methoden unter Berücksichtigung der aktuellen Krise in der Kosmologie

Joan Alcaide Núñez | 7. April 2025



Einführung

- Wie groß ist das Universum?
- Wie schnell dehnt es sich aus?
- Wie alt ist das Universums?
- Was ist das Schicksal des Universums?

Kosmologie und H_0

- Die Kosmologie ist eine Branche der Astrophysik, dass sich mit Ursprung, Entwicklung und Schicksal des Universums beschäftigt.
- Die Hubble-Lemaître-Konstante H_0 ist die Geschwindigkeit der Ausdehnung des Universums.
- H_0 stellt eine Beziehung zwischen Radialgeschwindigkeiten und Entfernungen von Galaxien dar.

Methoden für H_0

- Distance-Ladder-Methoden: $72 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$
 - Cepheiden
 - Typ Ia SNe
 - TRGB
 - JAGB, Typ II SNe, Tully-Fisher-Relation
- Λ CDM: $68 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$
 - Kosmischer Mikrowellenhintergrund (CMB)
 - Baryonische akustische Oszillationen (BAO)
- Standard-Sirenen: Gravitationswellen

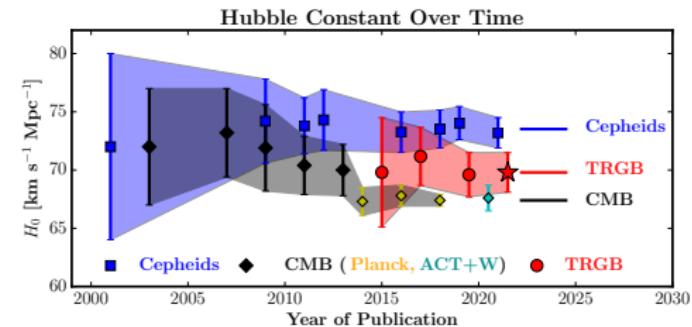


Abbildung: Freedman et al. 2021

Methoden für H_0

- Distance-Ladder-Methoden: $72 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$
 - Cepheiden
 - Typ Ia SNe
 - TRGB
 - JAGB, Typ II SNe, Tully-Fisher-Relation
- Λ CDM: $68 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$
 - Kosmischer Mikrowellenhintergrund (CMB)
 - Baryonische akustische Oszillationen (BAO)
- Standard-Sirenen: Gravitationswellen

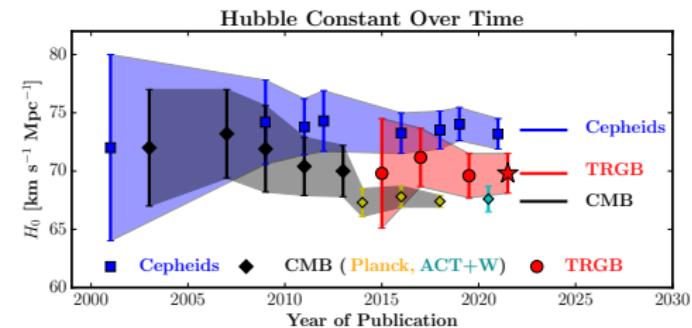


Abbildung: Freedman et al. 2021

Cepheiden

- Cepheiden sind pulsierende Sterne, wobei eine intrinsische Beziehung zwischen Periode und absoluter Magnitude durch das Leavitt-Gesetz besteht:

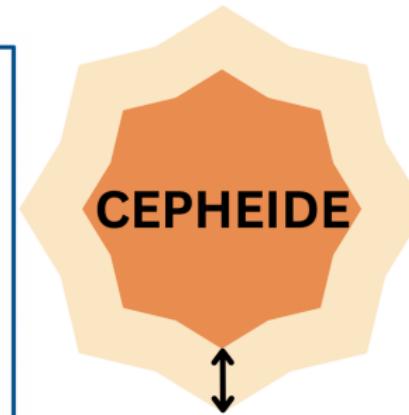
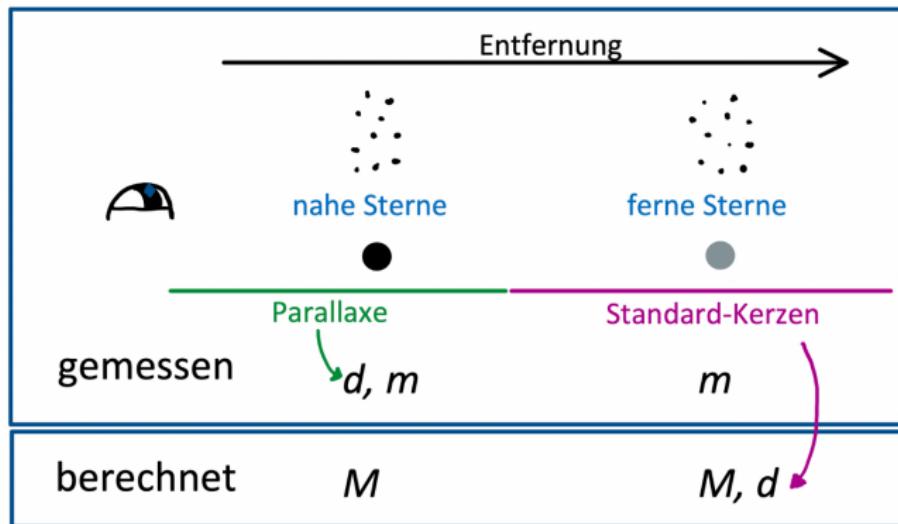
$$M_V = -2.774(\pm 0.083)[\log(P) - 1.4] - 5.262(\pm 0.040)$$

$$M_I = -3.039(\pm 0.059)[\log(P) - 1.4] - 7.202(\pm 0.020)$$

- Durch den Vergleich von absoluter und scheinbarer Magnitude kann die Entfernung zu Cepheiden berechnet werden.

$$d = 10^{\frac{5+(m-M)}{5}}$$

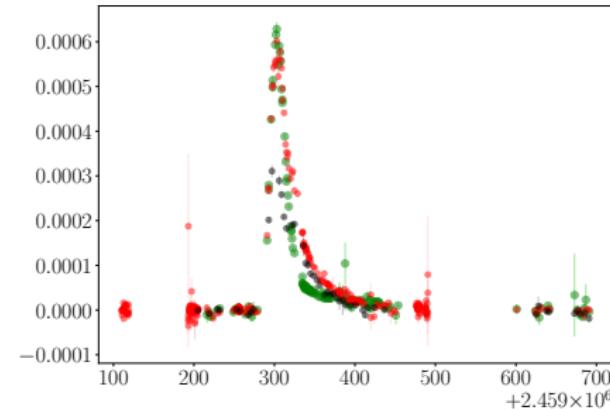
Cepheiden



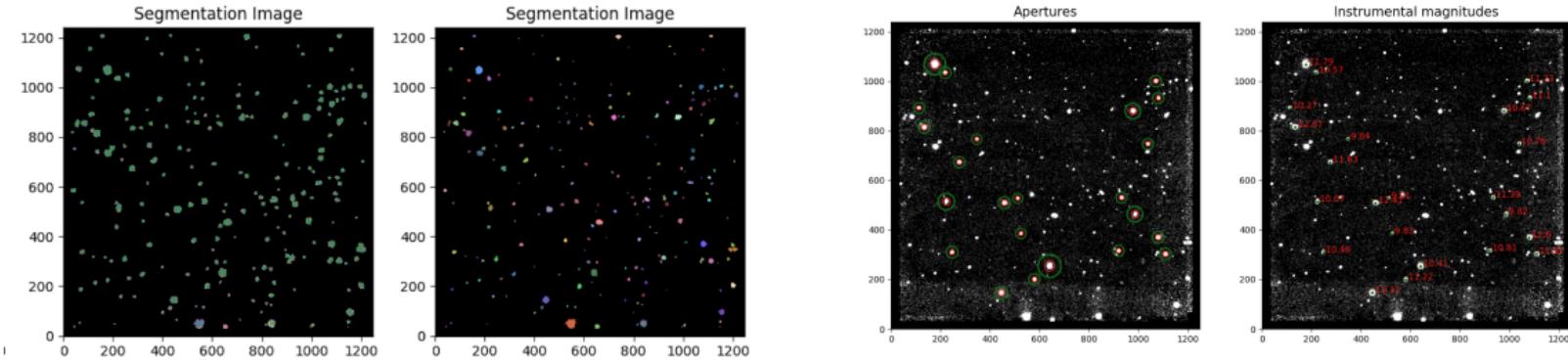
Cepheiden sind Variable Sterne, die eine periodische Leuchtkraft Funktion beschreiben.

Typ Ia SNe

- SNIa sind thermonukleare Explosionen von Weißen Zwergsternen, wenn diese $< 1.4 M_S$ überschreiten (Chandrasekhar-Limit).
- SALT3-NIR ist ein Modell, das die Streckung der Lichtkurve von SNIa mit ihrer absoluten Magnitude im Infrarotspektrum verknüpft.



Bilder von SNIa



I

Kosmologie und H_0
○

Methoden für H_0
○○

Cepheiden
○○

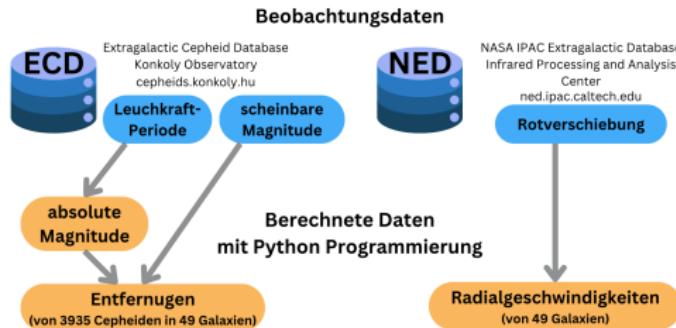
Typ Ia SNe
○●

Programmierung und Daten
○

Kosmologische Ergebnisse
○○

Im großen Blick
○

Programmierung und Daten



github.com/joanalnu/article_hubble_jic

- Python: Matplotlib, pandas, numpy, astropy, scipy, requests, photutils
- LaTeX: Standard-Schreibinstrument in Physik und Mathematik

Kosmologie und H_0
○

Methoden für H_0
○○

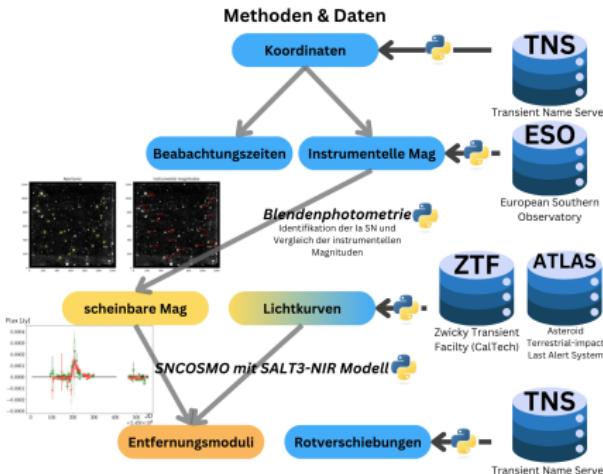
Cepheiden
○○

Typ Ia SNe
○○

Programmierung und Daten
●

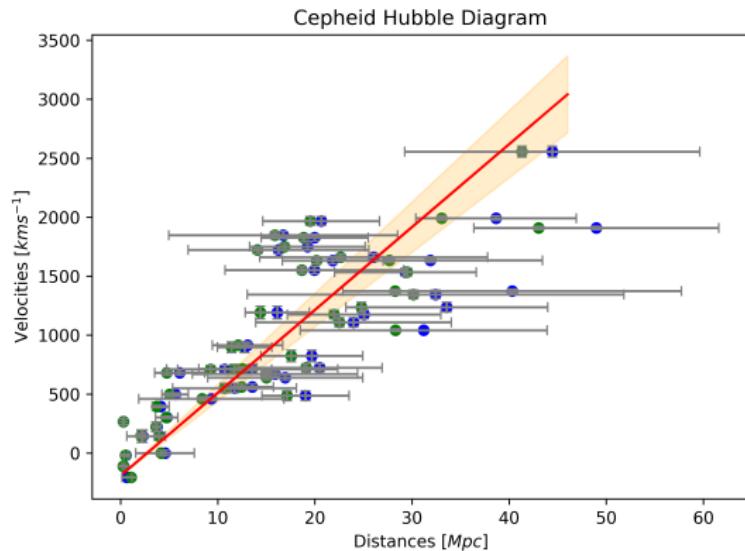
Kosmologische Ergebnisse
○○

Im großen Blick
○



github.com/joanalnu/cosmo24

Kosmologische Ergebnisse



$$H_0 = 72.26 \pm 7.09 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

Cepheiden

Kosmologie und H_0
○

Methoden für H_0
○○

Cepheiden
○○

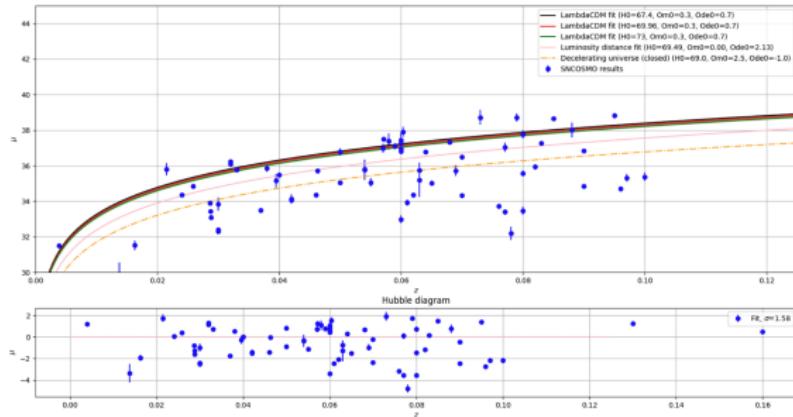
Typ Ia SNe
○○

Programmierung und Daten
○

Kosmologische Ergebnisse
●○

Im großen Blick
○

Kosmologische Ergebnisse



$$H_0 = 72.26 \pm 7.09 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

Cepheiden

$$H_0 = 69.49 \pm 3.12 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

SNIa

Im großen Blick

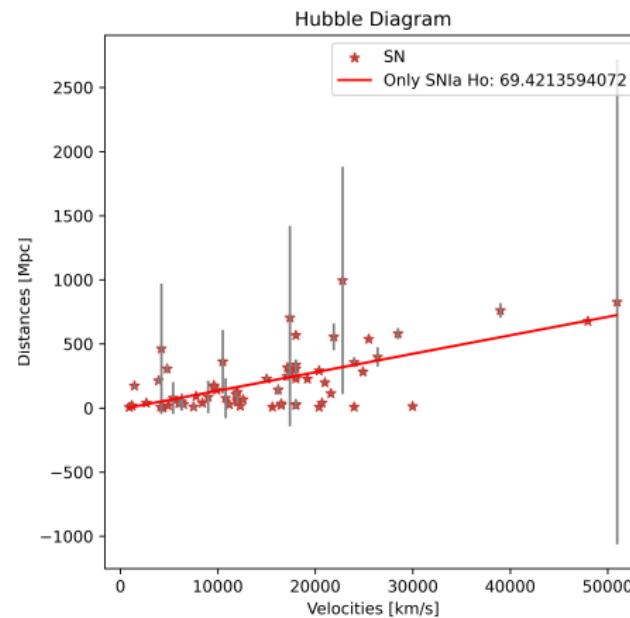
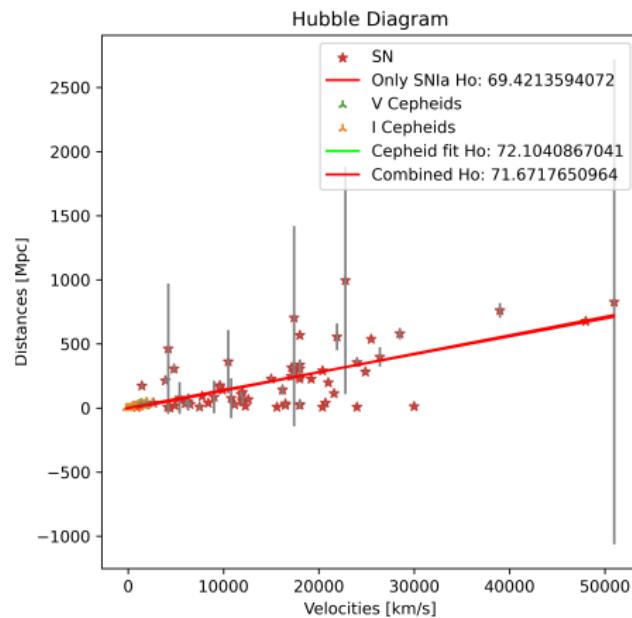
- Mit den theoretischen Grundlagen der modernen Kosmologie beschäftigt
- Mehrheit der Galaxien bewegt sich von uns weg \implies Ausdehnung des Universums
- Übereinstimmung meiner Ergebnisse mit W. Freedman et al. 2024 (Cep+SNIa), A. Riess et al. 2025 (Cep) und DESI Collaboration et al. 2025 (SNIa)

Kolloquium



●○○

Zusätzliches



Zusätzliches

$$H^2(t) = \frac{8\pi G}{3} \rho(t) - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$H(t) = H_0 \sqrt{\Omega_m a^{-3} + \Omega_\Lambda + \Omega_k a^{-2} + \Omega_\gamma a^{-4}}$$

$$10^{\frac{\mu-5}{25}} = (1+z) \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{1}{\sqrt{\Omega_\Lambda + \Omega_m(1+z')^3}} dz'$$

$\mu = 5 \log_{10}(d_L) + 25$
 $D_C = (1+z) D_L$
 $H^2(z) = H_0^2 [\Omega_m(1+z') + \Omega_\Lambda]$
 $D_C = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}$