

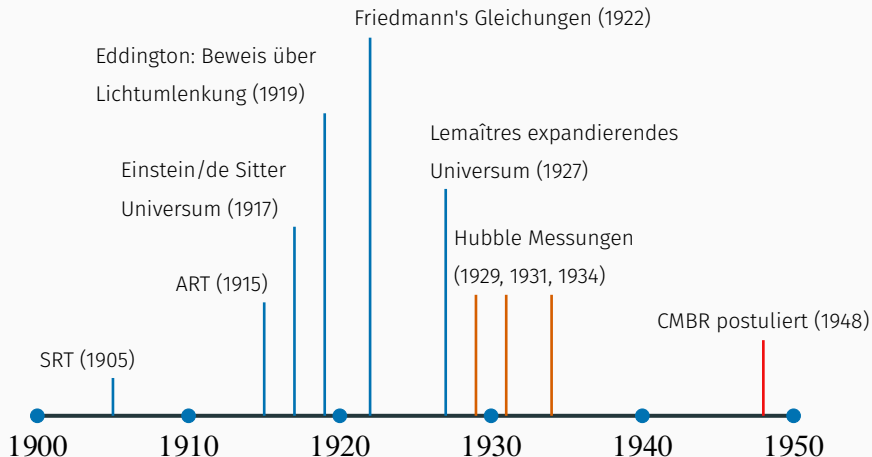
# Das Hubble Gesetz

---

Alexander Helbok

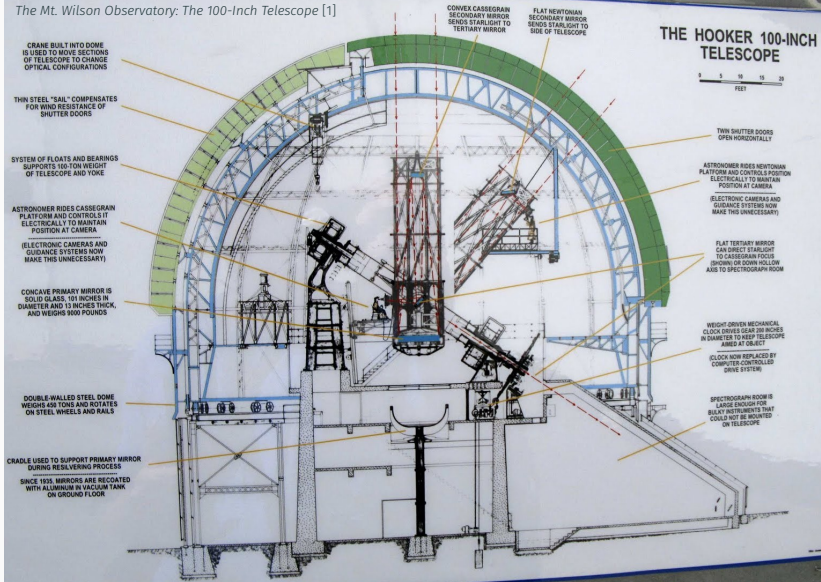
10. November 2023

# Timeline



# 100—Zoll Hooker Teleskop

The Mt. Wilson Observatory: The 100-Inch Telescope [1]



Geschwindigkeit von 46 Nebel von Slipher vermessen (Doppler) [2]

Entfernungsbestimmung (nur 24 Nebel) von Hubble über

- Cepheiden Perioden-Leuchtkraft-Beziehung (7)
- statistische Leuchtkraftverteilung von Sternen (13)
- statistische Leuchtkraftverteilung von Nebel (4)

Restlichen Nebel gemittelt betrachtet

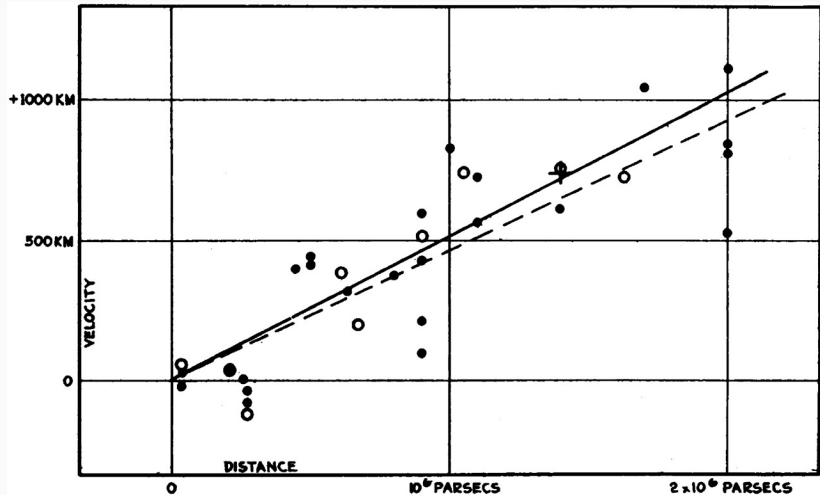
# Analyse

$$v = rK + \underbrace{X \cos(\delta) \cos(\alpha) + Y \cos(\delta) \sin(\alpha) + Z \sin(\delta)}_{\text{Relativgeschwindigkeit } V_0}$$

„Two solutions have been made, ...“ [3]

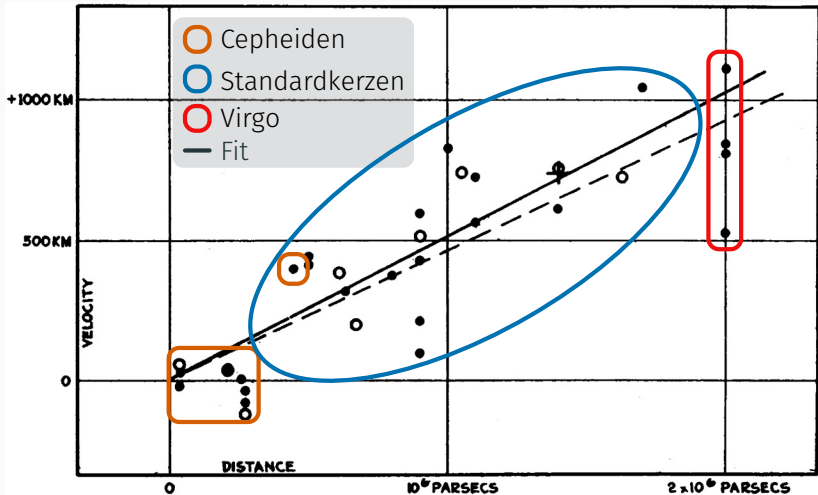
	24 OBJECTS	9 GROUPS	
<b>X</b>	<b>− 65 ± 50</b>	<b>+ 3 ± 70</b>	
<b>Y</b>	<b>+226 ± 95</b>	<b>+230 ± 120</b>	
<b>Z</b>	<b>−195 ± 40</b>	<b>−133 ± 70</b>	
<b>K</b>	<b>+465 ± 50</b>	<b>+513 ± 60 km./sec. per 10<sup>6</sup> parsecs.</b>	
<b>A</b>	<b>286°</b>	<b>269°</b>	
<b>D</b>	<b>+ 40°</b>	<b>+ 33°</b>	
<b>V<sub>0</sub></b>	<b>306 km./sec.</b>	<b>247 km./sec.</b>	(Hubble 1929)

# Ergebnisse



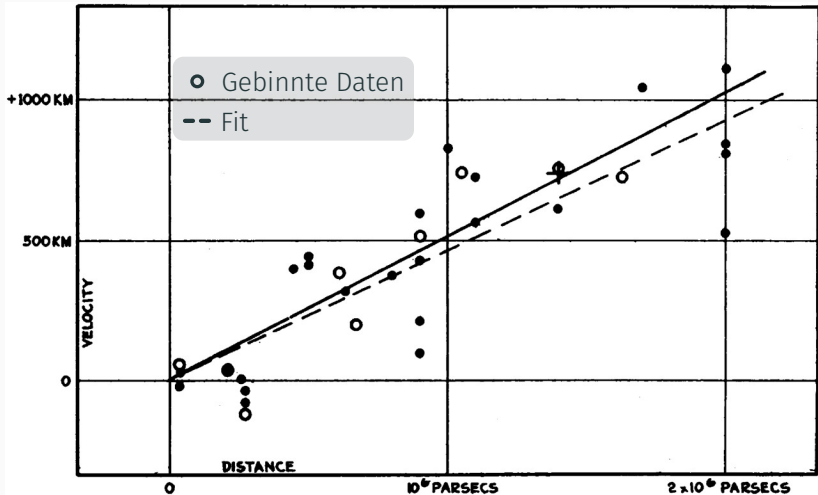
(Hubble 1929)

# Ergebnisse



(Hubble 1929)

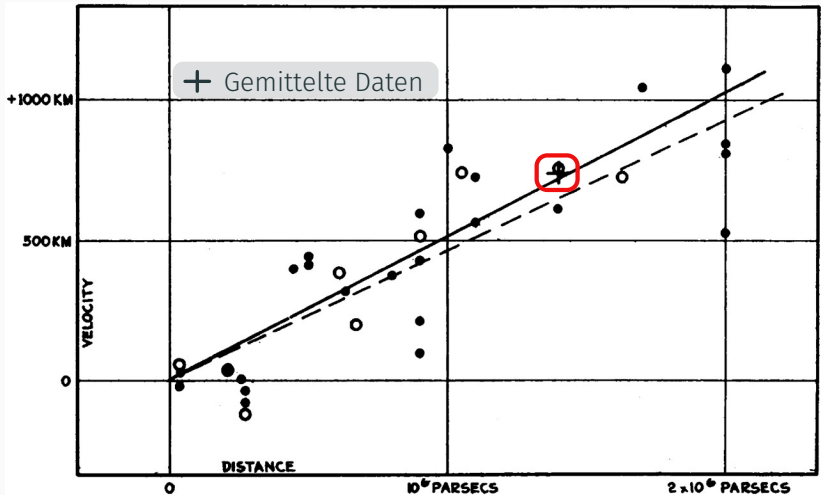
# Ergebnisse



(Hubble 1929)



# Ergebnisse



(Hubble 1929)

# Interpretation von Hubble

1) „The results establish a roughly linear relation between velocities and distances among nebulae ...“ [3]

Mit Faktor  $K = 465(50)$  bzw.  $513(60)$  km/s/Mpc

- linearer Zusammenhang deutlich sichtbar
- keine statistischen Fehler
- dafür Entfernungen systematisch zu klein (Faktor 7!)
- keine Fitgüte im Paper

# Interpretation von Hubble

2) „New data to be expected in the near future may modify the significance of the present investigation or, if confirmatory, will lead to a solution having many times the weight.“ [3]

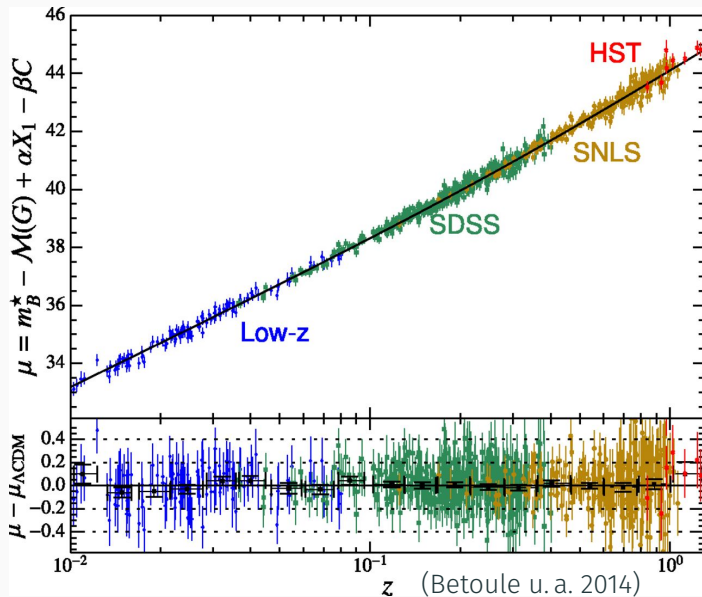
- Absolut Richtig
- viele Nachfolgeexperimente (bis heute noch)
- „crisis in cosmology“

# Interpretation von Hubble

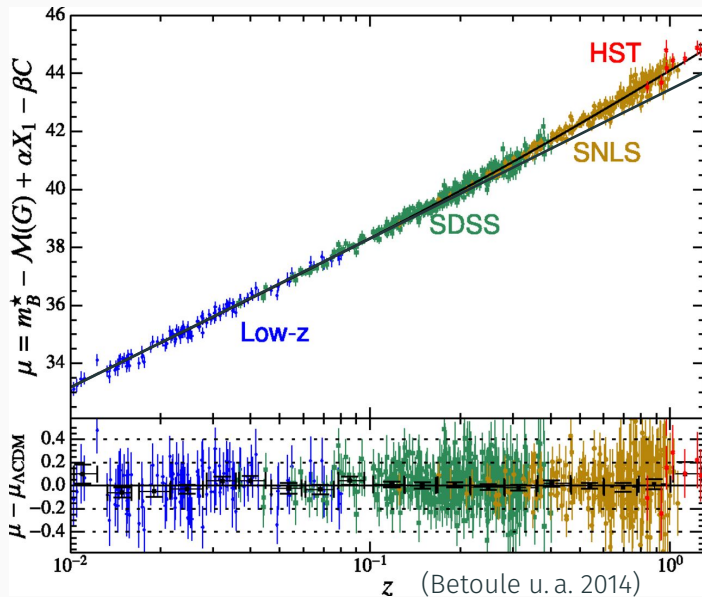
3) „The outstanding feature, however, is the possibility that the velocity-distance relation may represent the de Sitter effect, ...“ [3]

- deSitter Universum: statisch, keine (normale) Materie
- Redshift durch Zeitverlangsamung bei großen Entfernungen [4]
- „richtige“ Interpretation: dynamisches Universum (nach Friedmann/Lemaître)

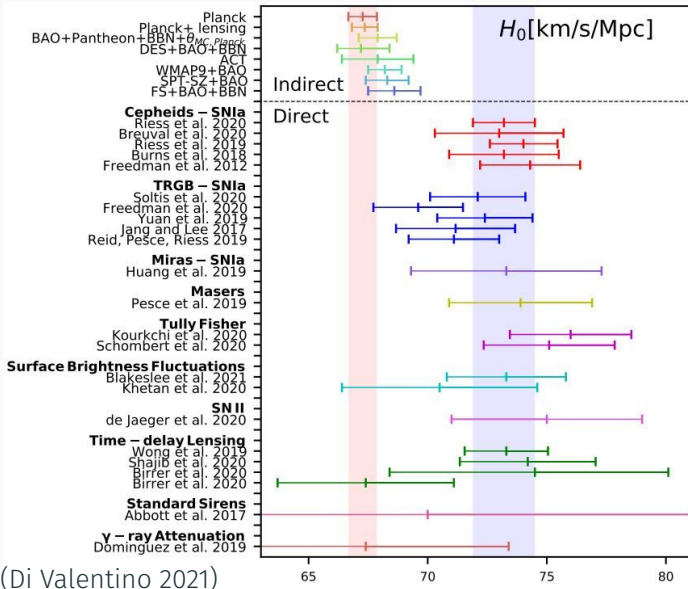
# Messung über SN1a



# Messung über SN1a



# Inkonsistenz in $H_0$ ?



# Recap

- Entfernungsbestimmung über Leuchtkraftrelationen
- Geschwindigkeit über Doppler shift

⇒ linearer Zusammenhang (obwohl systematische Abweichung)

- $H_0$  erlaubt Vergleich Modell, Experiment



Fragen?

# Frage 1

Warum habe ich  $H_0$  immer Hubble Parameter und nicht Hubble Konstante (wie man es in vielen Publikationen sieht) genannt?

- A) Die beiden Begriffe sind ja Synonyme
- B) Naja,  $H_0$  ist ja zeitlich nicht konstant geblieben
- C) Man kann  $H_0$  nicht aus Naturkonstanten ableiten, also ist es selber keine Konstante

# Frage 1

Warum habe ich  $H_0$  immer Hubble Parameter und nicht Hubble Konstante (wie man es in vielen Publikationen sieht) genannt?

- A) Die beiden Begriffe sind ja Synonyme
- B) Naja,  $H_0$  ist ja zeitlich nicht konstant geblieben
- C) Man kann  $H_0$  nicht aus Naturkonstanten ableiten, also ist es selber keine Konstante

## Frage 2

Wenn jetzt alle Galaxien von uns wegfliegen, heißt das, dass wir uns im Zentrum des Universums befinden wo der Urknall stattfand?

A) Ja, weil ...

B) Nein, weil ...

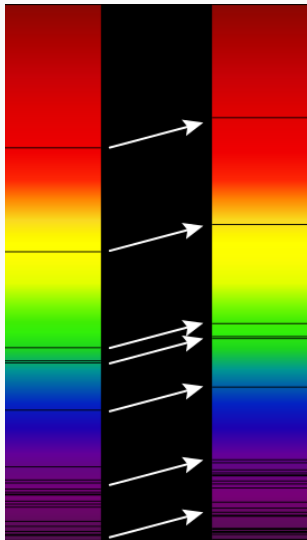
## Frage 2

Wenn jetzt alle Galaxien von uns wegfliegen, heißt das, dass wir uns im Zentrum des Universums befinden wo der Urknall stattfand?

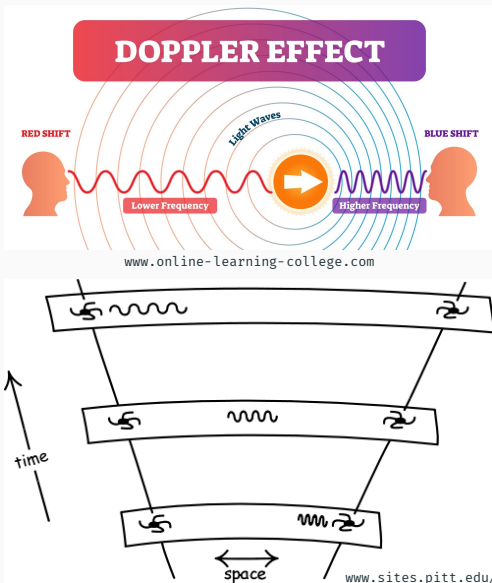
A) Ja, weil ...

B) Nein, weil ...

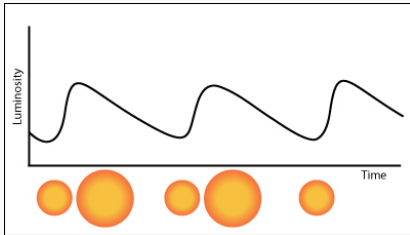
# Doppler-Effekt/Kosmologischer Redshift



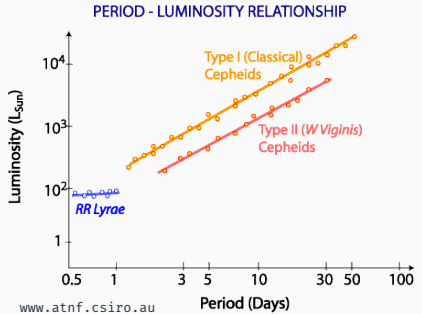
[www.simple.wikipedia.org](http://www.simple.wikipedia.org)



# Cepheiden Perioden-Leuchtkraft Beziehung



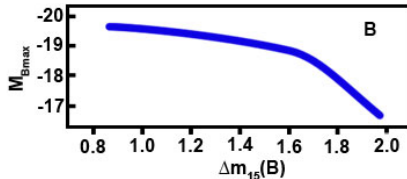
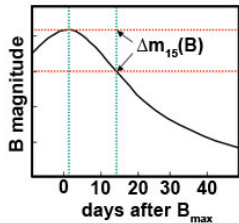
[www.mso.anu.edu.au](http://www.mso.anu.edu.au)



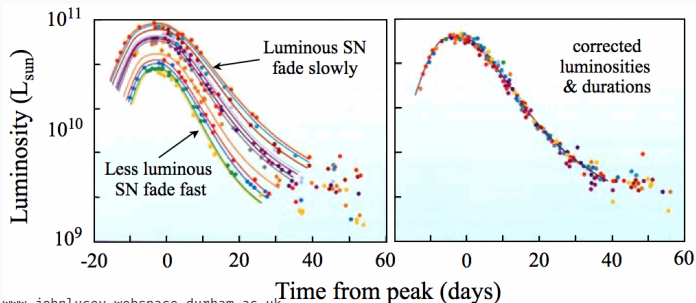
$$\text{Typ I Cepheiden: } M_v = -2.54 \log(P_{\text{days}}) - 1.61$$

$$M = m - 5 \log(d_{\text{pc}}) + 5$$

# SN1a als Standardkerzen



[www.astronomy.swin.edu.au](http://www.astronomy.swin.edu.au)



[www.johnlucey.webspace.durham.ac.uk](http://www.johnlucey.webspace.durham.ac.uk)



## Literatur

---

- [1] *The Mt. Wilson Observatory: The 100-Inch Telescope*. 23. Juni 2011.  
URL: <https://the-great-silence.blogspot.com/2011/06/mt-wilson-observatory-100-inch.html>.
- [2] V. M. Slipher. „Spectrographic observations of nebulae“. In: *Popular Astronomy*, Vol. 23, p. 21-24 23 (1915), S. 21–24.
- [3] E. Hubble. „A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae“. In: *Proceedings of the national academy of sciences* 15.3 (1929), S. 168–173.

- [4] S. Kent. *What, Exactly, Is The "De Sitter Effect"?* 23. Juni 2011. URL:  
<https://astro.uchicago.edu/~kent/fnal/effect.html>.
- [5] M. Betoule u. a. „Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples“. In:  
*Astronomy & Astrophysics* 568 (2014), A22.
- [6] E. Di Valentino. „A combined analysis of the  $H_0$  late time direct measurements and the impact on the Dark Energy sector“. In:  
*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 502.2 (Jan. 2021),  
S. 2065–2073. URL:  
<https://doi.org/10.1093%2Fmnras%2Fstab187>.