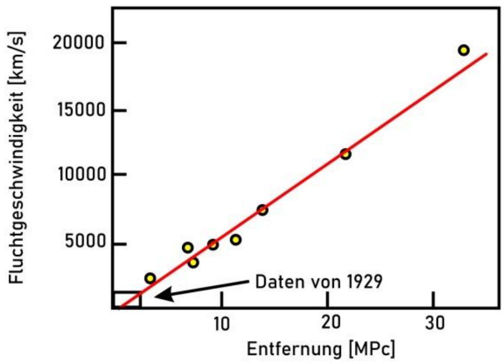
# Hubble-Gesetz und Hubble-Konstante

**Wie in dem Beitrag *Rotverschiebung und Hubble-Gesetz* beschrieben, entdeckte der Astronom Edwin Hubble, dass sich die beobachteten kosmischen Objekte im statistischen Mittel von uns entfernen und zwar umso schneller, je weiter sie von uns entfernt sind. Eine Auswertung der entsprechenden Daten ließ auf eine lineare Abhängigkeit der "Fluchtgeschwindigkeit" der Himmelskörper von deren Entfernung zu uns schließen. Hubble fasste dies 1929 wie folgt in dem nach ihm benannten Gesetz zusammen: $\mathbf{v_H = H_o \cdot D}$, ($\mathbf{v_H}$ = Fluchtgeschwindigkeit, $\mathbf{H_o}$ = Hubble-Konstante, D = Entfernung). Letztendlich hat sich das Hubble-Gesetz in dieser Form jedoch als nichtlinear erwiesen. Es gilt aber nach wie vor in guter Näherung für unsere unmittelbare kosmische Nachbarschaft.**

Allerdings hatte der belgische Priester George Lemaître diese Beziehung schon zwei Jahre vorher angegeben, was jedoch nicht beachtet wurde. Dabei betonte Lemaître, dass die „Flucht" der Himmelskörper nicht als Bewegung in einem fixen Raum zu verstehen sei, sondern, im Sinne der allgemeinen Relativitätstheorie, als Expansion des Raumes selbst (siehe Beitrag *Allgemeine Relativitätstheorie*). Diese Interpretation der "Galaxienflucht" hat bis heute Bestand.

Die Expansion des Universums wird allgemein durch den sogenannten **Skalenfaktor a(t)** beschrieben. **a** ist der zeitabhängige Proportionalitätsfaktor, mit dem sich die Abstände aller Himmelskörper einheitlich durch die Expansion des Universums verändern, und $\dot{a} = da/dt$ seine zeitliche Ableitung. Der Skalenfaktor und seine zeitliche Änderung definieren den sogenannten **Hubble-Parameter** $\mathbf{H(t) = \dot{a}(t)/a(t)}$.
Der Hubble-Parameter zum heutigen Zeitpunkt $\mathbf{t_o}$ wird als **Hubble-Konstante** $\mathbf{H_o}$ bezeichnet. $H_o$ ist ein Maß dafür, mit welcher Geschwindigkeit sich das Universum **zum heutigen Zeitpunkt** ausdehnt. Es ist außerordentlich wichtig, den Wert von $H_o$ möglichst genau zu kennen, da er in die konkreten Lösungen der Friedmann-Gleichung z. B. für ein flaches Universum eingeht (siehe Beiträge: *Allgemeine Relativitätstheorie* und *flaches Universum*).




Erste Messungen der Hubble-Konstanten
$H_o = \dot{a}_o/a_o$ = Fluchtgeschwindigkeit/Entfernung in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft.

Der Index o bezieht sich jeweils auf die Zeit $t_o$ (Gegenwart).

Grafik nachgezeichnet nach Hubble & Humason (1931)

Mit $H_o$ werden drei grundlegende Parameter der Kosmologie wie folgt festgelegt:

Dichteparameter des Universums $\mathbf{\Omega_M = \rho_M \cdot (8\pi G)/(3H_o^2)}$, $\rho_M$ = Materiedichte, G = Gravitationskonstante.
Parameter der kosmologischen Konstante $\mathbf{\Omega_\Lambda = (\Lambda c^2)/(3H_o^2)}$, $\Lambda$ = kosmologische Konstante.
Krümmungsparameter $\mathbf{\Omega_k = -(kc^2)/(R_o^2 \cdot H_o^2)}$, k = Krümmung, $R(t) = R_o \cdot (a/a_o)$ = Radius einer Kugelschale.
Dabei gilt allgemein: $\mathbf{\Omega_M + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1}$.

Eine Bestimmung von $H_o$ ist prinzipiell durch die direkte Messung der kosmischen Rotverschiebung **-**, die der Fluchtgeschwindigkeit entspricht, **-** relativ nahe gelegener Himmelsobjekte in Abhängigkeit von deren Entfernung zu uns möglich. Bei Messungen an weiter entfernten Objekten ist eine jeweilige Extrapolation auf der Basis des Standardmodells der Kosmologie (Konkordanzmodell) auf die heutige Zeit $t_o$ erforderlich.

Der mittlerweile von einem Team um den Nobelpreisträger Adam Riess im kosmischen Nahbereich recht genau ermittelte Wert von $H_o$ beträgt rund 74 km/(Megaparsec x sek.); [1 parsec = 3,26 Lichtjahre]. Diese Bestimmung basiert auf Entfernungsmessungen von 1a-Supernovae. Hingegen haben Messungen der PLANCK-Satellitensonde am kosmischen Mikrowellenhintergrund etwas mehr als 67 km/(Megaparsec x sek.) ergeben. Bei dieser Methode muss man berücksichtigen, dass aufgrund der extremen Entfernung eine Extrapolation auf den heutigen Zeitpunkt $t_o$ entsprechend dem Konkordanzmodell erforderlich war. Dennoch lässt sich der deutliche Unterschied zu den Nahbereichs-Messungen nicht mehr mit Messungenauigkeiten erklären, sodass die Astrophysiker zurzeit vor einem Rätsel stehen. Dieses ist noch dadurch größer geworden, dass kürzlich eine andere unabhängige Entfernungsmessmethode an roten Riesensternen einen Wert von rund 70 km/(Megaparsec x sek.) erbrachte. Eine der Vermutungen ist, dass irgendetwas mit dem kosmologischen Standardmodell nicht stimmen könnte.

P. S.