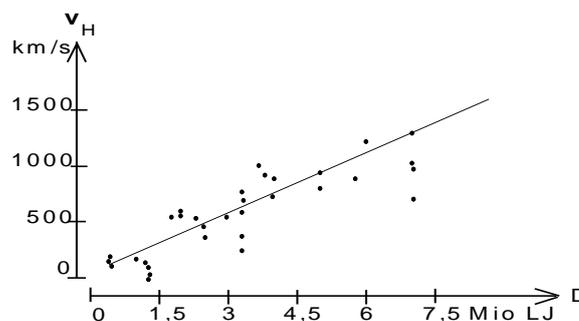


# Die kosmische Rotverschiebung

Nachdem die amerikanische Wissenschaftlerin Henrietta Swan-Leavitt das *Cepheiden*-Verfahren zur Bestimmung größerer kosmischer Entfernungen entwickelt hatte, machte Ende der 1920-er Jahre der Astrophysiker **Edwin Hubble** eine merkwürdige Entdeckung. Er stellte nämlich fest, dass das Licht von Sternen und Galaxien umso roter erscheint, je weiter die Objekte von uns entfernt sind. Eine quantitative Auswertung der von ihm aufgenommenen Sternspektren zeigte eine im Wesentlichen lineare Verschiebung der Spektrallinien in den roten Bereich in Abhängigkeit von der Entfernung der Lichtquellen. Diese Beobachtung interpretierte Hubble dahingehend, dass alle Himmelsobjekte sich mit wachsendem Abstand von uns immer schneller entfernen (Bild 1). Eine vergleichbare Erscheinung, den so genannten *Dopplereffekt* beobachten wir akustisch im täglichen Leben, wenn sich ein hupendes Auto von uns fortbewegt. Der Ton wird mit zunehmender Geschwindigkeit und Entfernung immer tiefer. Das entspricht in der Optik einem immer roter werdenden Spektrum. Hubble leitete daraus das nach ihm benannte Gesetz ab:  $v_H = H_0 \times D$ , ( $v_H$  = Fluchtgeschwindigkeit,  $H_0$  = Hubble-Konstante,  $D$  = Entfernung).

Bild 1 : Erstes Messdiagramm von E. Hubble



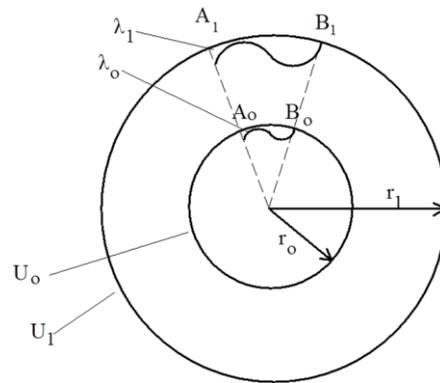
Hubbles Interpretation ging aber noch weiter. Er schloss nämlich aus seinen Beobachtungen, dass der gleiche Effekt auch dann zustande kommen kann, wenn sich das Universum als Ganzes ausdehnen würde, ohne dass sich darin die Objekte selbst bewegen müssten. Damit war die Vorstellung vom expandierenden Universum zwar nicht geboren - dies hatte schon 1927 der belgische Priester **George Lemaitre** allein auf Basis der Einsteinschen Gleichungen vermutet -, aber wesentlich gestärkt worden. Als Konsequenz daraus entstand auch die Vorstellung von einem Anfang des Universums, dem **Urknall**. Wenn sich nämlich das Universum bis heute stetig ausgedehnt hat, muss es in der Rückschau vor langer Zeit einmal winzig klein gewesen sein, bzw. bei Null angefangen haben. Wir wissen heute, dass dies vor etwa 13,8 Milliarden Jahren der Fall gewesen sein muss.

Die *kosmische Rotverschiebung*  $z$  wird heute nicht mehr mit dem *Dopplereffekt* erklärt, der sich auf die Bewegung von Objekten **im** Raum bezieht, sondern mit der Dehnung der elektromagnetischen Wellen des Lichts durch die **Expansion des Raumes selbst** (siehe Bild 2).

Die **Hubble-Konstante**  $H_0$  beträgt nach neuesten Messungen der PLANCK-Satellitensonde etwas mehr als 67 km/(Megaparsec x sek.); [1 parsec = 3,26 Lichtjahre]. Sie ist ein Maß für die heutige Expansionsgeschwindigkeit des Universums. Da diese im Verlauf der Entwicklungs-

Bild 2: Expansion des Universums  $r_o \rightarrow r_1$  mit  
Dehnung der Wellenlänge  $A_oB_o \rightarrow A_1B_1$

Rotverschiebung :  $z \equiv (\lambda_1 - \lambda_o)/\lambda_o = \Delta\lambda/\lambda_o ;$



geschichte aber nicht konstant war, hat sich auch die Hubble-“Konstante“ in kosmischen Zeiten verändert. Und zwar hat sich die Expansionsgeschwindigkeit durch die Gravitationswirkung des Materie-/Energieinhalts des Universums seit dem Urknall stetig verringert. 1998 ist nun aber eine neue Beobachtung hinzugekommen, dass nämlich das Universum heute beschleunigt zu expandieren scheint. Eine Erklärung dafür soll die so genannte **Dunkle Energie** liefern.

*Peter Steffen*