Die gravitative Rotverschiebung

Im Gegensatz zur kosmischen Rotverschiebung ist die **gravitative Rotverschiebung** eine lokale Erscheinung, die unmittelbar aus der 1915 von **Albert Einstein** veröffentlichten **Allgemeinen Relativitätstheorie (ART)** folgt. Die ART beschreibt die Gravitation als Raumkrümmung, die durch das Vorhandensein von Materie und Energie verursacht wird. Bezüglich der ART ist die Newtonsche Gravitationstheorie nicht falsch, sondern nur eine Näherung, die für vergleichsweise schwache Gravitationsfelder und im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit langsame Vorgänge nach wie vor gültig ist.

Nach Einstein krümmt also Masse den Raum (und verzerrt die Zeit) und zwar umso mehr, je größer die Massendichte, d. h. je stärker das Gravitationsfeld ist! Dies gilt sowohl lokal wie universell. Lokal kann man die Raumkrümmung als eine Mulde in einem begrenzten Raumgebiet bezeichnen, deren Tiefe von der Masse und deren Dichte abhängt. Da der Raum dreidimensional ist, können wir uns allerdings keine Raummulde vorstellen, sondern müssen das Ganze um eine Dimension reduzieren. Das heißt, wir stellen uns eine Mulde in einer ebenen Fläche vor, wie in Abb.1 dargestellt, wobei die 2-dim. Fläche den 3-dim. Raum repräsentiert.

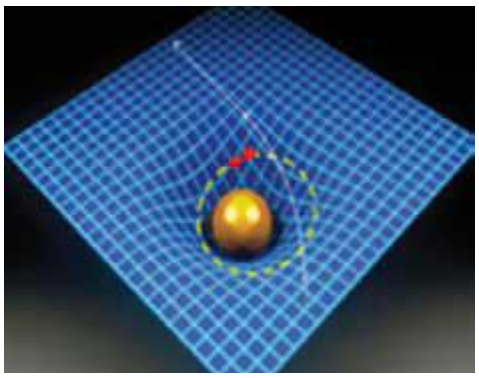

Abb. 1: Darstellung einer Mulde in einer ebenen Fläche, z. B. einem Trampolin, belastet mit einer schweren Kugel.

Bild: schulphysik.de (modifiziert)

Aus diesem Bild ist auch ersichtlich, wie in einer solchen Gravitationsmulde – auch Gravitations- oder Potenzialtrichter genannt – sich die Bahnen von Objekten beim Durchlaufen der Mulde krümmen bis hin zu geschlossenen Bahnkurven von z. B. Planeten und Satelliten. Das Gleiche gilt auch für Licht (elektromagnetische Wellen), das in einen Gravitationstrichter gerät. Wesentlich bei dieser Veranschaulichung ist, sich vorzustellen, dass sich alle Vorgänge ausschließlich in der zweidimensionalen Fläche abspielen. Alle Objekte und Wellen bewegen sich auf **Geodäten**, d. h. auf dem kürzesten Weg von A nach B auf der gekrümmten (eingebeulten) Fläche. Die Bahnkurven erscheinen uns nur deshalb gekrümmt, weil der Raum bzw. dimensionsreduziert die Fläche gekrümmt ist. Die dreidimensionale Darstellung der kugelförmigen Masse in Abb. 1 ist so gesehen nicht korrekt, wird aber in allen Darstellungen so veranschaulicht.

Wenn man nun die energetische Seite dieser bildlichen Veranschaulichung betrachtet, so kann man sich leicht vorstellen, dass es Photonen, also die „Lichtteilchen“ Energie kostet, um aus einem Gravitationstrichter „herauszuklettern“. Daraus folgt, dass alle elektromagnetischen Wellen beim Verlassen eines Gravitationstrichters eine spektrale Rotverschiebung erleiden, da die Energie einer Strahlung mit größer werdender Wellenlänge abnimmt (vergl. Abb. 2).

Die gravitative Rotverschiebung ist entsprechend der ART auch mit einer Zeitdilatation verbunden, die mit stärker werdendem Gravitationsfeld anwächst.

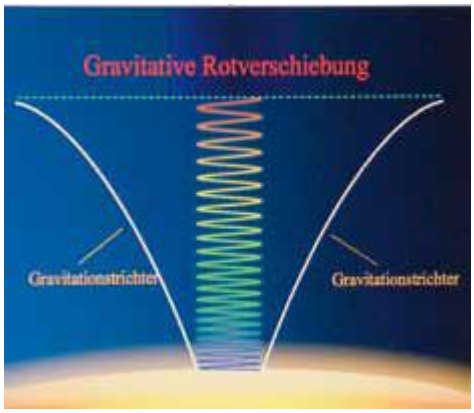

Abb. 2: Darstellung der gravitativen Rotverschiebung bei Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle von einem Körper großer Masse.

Quelle: de.wikipedia.org, (modifiziert)

Dieser Effekt macht sich sogar schon auf unserer Erde mit verhältnismäßig geringer Masse dahingehend bemerkbar, dass Uhren z. B. in Erdsatelliten geringfügig schneller gehen als auf dem Erdboden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Erdanziehung am Boden stärker ist als in größeren Höhen, die Gravitation also mit zunehmender Höhe abnimmt. Wenn die Technik nicht die daraus resultierenden Zeitdifferenzen zwischen Erde und Satellit berücksichtigen würde, gäbe es keine brauchbare Satellitennavigation.

Peter Steffen