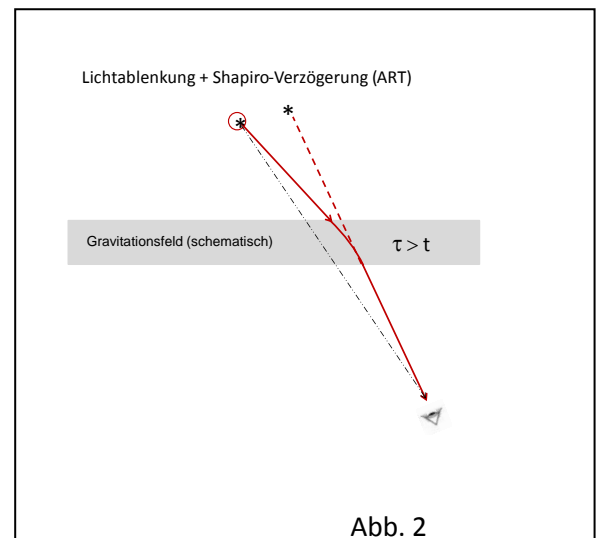
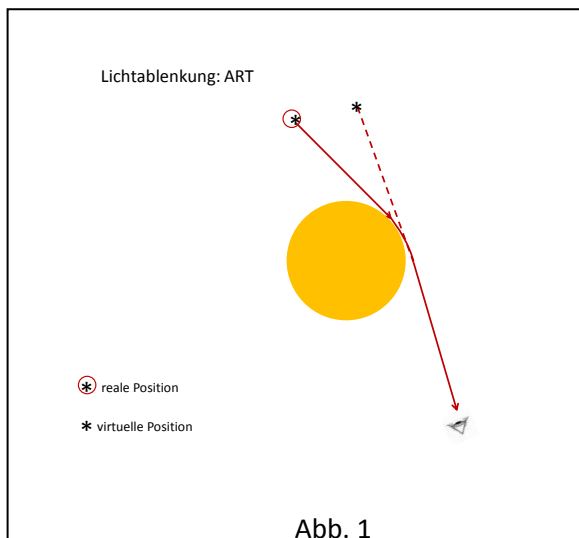


Der Shapiro-Effekt

Die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c ist die höchste Geschwindigkeit, die im Raum erreicht werden kann. Sie ist eine Grenzggeschwindigkeit, die absolut konstant ist und mit der sich nur elektromagnetische Wellen und Gravitationswellen ausbreiten. In Medien (Gase, Flüssigkeiten und Festkörpern) wird c im Vakuum nicht erreicht. Die Frage ist allerdings: Gilt das auch dann, wenn Licht im Vakuum ein Gravitationsfeld durchläuft?

Wie aus der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) hervorgeht, verursacht ein Gravitationsfeld die sogenannte gravitative Rotverschiebung (siehe diesbezüglichen Beitrag). Dieser Effekt ist mit einer Zeitdilatation verbunden, entsprechend der Formel $\tau \approx t_0 \cdot \sqrt{1 + 2\Phi/c^2}$. Diese Beziehung gilt jedoch nur näherungsweise für schwache Gravitationsfelder. Dabei bedeuten: τ = gedehnte Zeit, t_0 = Zeit ohne Gravitationseinfluss ($\Phi=0$), Φ = Gravitationspotenzial und c = Vakuum-Lichtgeschwindigkeit. Aus diesem Zusammenhang hat nun Irwin Shapiro, amerikanischer Astrophysiker, 1964 theoretisch geschlossen, dass wir eine Laufzeitverzögerung z. B. eines Lichtsignals beobachten müssten, das von einem Himmelsobjekt dicht an der Sonne vorbei zu uns gelangt. Das Licht sollte außer der Bahnkrümmung, die schon 1919 bei einer Sonnenfinsternis von Arthur Eddington als Bestätigung der ART nachgewiesen wurde (Abbildung 1), auch eine Zeitverzögerung aufweisen (Abbildung 2).



Dieser als *Shapiro-Verzögerung* bezeichnete Effekt kommt dadurch zu Stande, dass das Licht in unmittelbarer Nähe der großen Sonnenmasse eben eine messbare gravitative Rotverschiebung erleidet, die gemäß der ART mit der o. g. Zeitdilatation verbunden ist. Aus der Sicht eines weit von dem Gravitationsfeld entfernten Beobachters stellt sich dies so dar, als ob das Licht in der Nähe dieser großen Masse ein materielles Medium durchlaufen würde, das die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts verringert.

1968 wurden unter der Leitung von Shapiro die Laufzeitverzögerungen von Radarsignalen, die von der Venus und dem Merkur reflektiert wurden, gemessen. Dabei ergaben sich während der oberen Konjunktion, bei der die Radarstrahlen die Sonne in unmittelbarer Nähe passierten, eine Verzögerung Δt von knapp 200 Mikrosekunden. Genauere Messungen wurden später mit Hilfe der Raumsonden *Mariner* und *Viking* durchgeführt. Diese ergaben eine maximale Verzögerung von $\Delta t = 0,22 \cdot 10^{-4}$ s.