

174 GPS-Korrektur und ART

ZUSAMMENFASSUNG

Die Uhr in einem GPS-Satelliten läuft schneller als eine terrestrische Uhr. Oft wird gesagt, dies sei ein Effekt der Allgemeinen Relativitätstheorie. Da der Effekt auch im homogenen Gravitationsfeld auftritt, wird er aber bereits durch die Spezielle Relativitätstheorie erklärt.

Gegenstand

Die relativistischen Abweichungen, die bei den Uhren in GPS-Satelliten korrigiert werden müssen, sind von zweierlei Art: Die eine kommt von der „Zeitdilatation“, die mit der Geschwindigkeit des Satelliten zu tun hat. Die andere kommt daher, dass sich der Satellit im Gravitationsfeld auf einem höheren Potenzial befindet als die terrestrischen Uhren. Der erste dieser Effekte ist ein speziell-relativistischer Effekt (im Folgenden SRT-Effekt), der zweite, so wird oft gesagt, sei ein Effekt der allgemeinen Relativitätstheorie (ART-Effekt). Manchmal wird behauptet, die Anzeige der Satellitenuhr sei größer, weil sich der Satellit in einem schwächeren Feld befindet.

Mängel

Mit dem Effekt, der der ART zugeschrieben wird, gibt es zwei Probleme.

1. Er hat nichts mit der Feldstärke zu tun, sondern hängt lediglich vom Potenzial ab. Auch in der Näherung, dass das Feld homogen ist, dass also die Feldstärke unabhängig von der Höhe ist, tritt der Effekt auf.

2. Die Aussage, dass es sich um einen ART-Effekt handelt, ist sicher ungeschickt. Man kann natürlich darüber streiten, welche Effekte man der ART zurechnet. Ist allein die Tatsache, dass man die Äquivalenz von träger und schwerer Masse ernst nimmt, eine ART-Aussage? Bedeutet die Tatsache, dass man in ein beschleunigtes Bezugssystem wechselt, dass man ART macht? Wohl eher nicht. Es ist passender, die Abgrenzung zwischen ART- und Nicht-ART-Effekt so zu definieren: Alles was sich mit einem flachen Minkowski-Raum beschreiben lässt, gehört nicht in die Kategorie der ART-Effekte.

Wenn man sich an dieses Kriterium hält, ist der Eigenzeit-Unterschied zwischen Uhren in verschiedenen Höhen kein ART-Effekt. Er tritt auch im homogenen Gravitationsfeld auf, und für dieses ist der Riemann-Tensor gleich null, oder in anderen Worten: man kann das Feld wegtransformieren, indem man in ein frei fallendes Bezugssystem geht.

Wir betrachten das berühmte Beispiel der Zwillinge (A und B), von denen der eine in einem Hochhaus oben wohnt und der andere unten. Sie treffen sich zunächst auf halber Höhe, und gleichen ihre Uhren ab. Wenn sie, nachdem sie eine gewisse Zeit oben bzw. unten verbracht haben, ihre Uhren erneut vergleichen, zeigt die Uhr des oberen Zwillinges mehr an als die des unteren. Diesen Eigenzeitunterschied kann man bequem mit der SRT erklären, indem man das Hochhaus samt A und B in einem frei schwebenden Bezugssystem beschreibt. Man nimmt an, dass eine dritte Person C vom Raumzeit-Punkt des ersten Uhrenvergleichs hochspringt, und zwar so, dass sie beim zweiten Uhrenvergleich wieder bei den Zwillingen A und B ankommt. Die Person C ist zwischen den beiden Raumzeit-Punkten frei schwebend oder fallend, während sich die Zwillinge und das Hochhaus beschleunigt entfernen und wieder zurückkommen. Den Unterschied zwischen den Eigenzeiten der beiden Zwillinge kann C mit seinem schwebenden Bezugssystem mit den Mitteln der SRT bestimmen. Der Effekt ist von derselben Art wie beim klassischen Zwillingenparadoxon, bei dem die Zwillinge auf unterschiedlichen Weltlinien von einem Raumzeitpunkt zu einem anderen gelangen.

Herkunft

Bei der Behauptung, der Effekt hänge mit einer unterschiedlichen Feldstärke zusammen, mag das Argument so sein: die Tatsache, dass die eine Uhr schneller läuft als die andere muss eine lokale Ursache haben; irgendetwas am Ort der Uhren muss unterschiedlich sein. Die Natur der Raumzeit wurde also nicht verstanden.

Dass es sich um einen ART-Effekt handelt, mag man so zu begründen versuchen: Immer wenn ein Gravitationsfeld im Spiel ist, gilt die SRT nicht mehr. Man kann ja das Feld nur dadurch wegtransformieren, dass man sich beschleunigt bewegt. Beschleunigungen, so scheint man zu glauben, gehören aber nicht in die SRT.

Entsorgung

Man behandelt beide Effekte im Rahmen der SRT.