

## GPS – relativistische Korrekturen schrauben die Genauigkeit hinauf

Die Grundidee der GPS-Positionsbestimmung beruht auf der Messung der Entfernungen des eigenen Standorts zu mehreren Satelliten, deren Positionen ausreichend genau bekannt sind. Da die Entfernungen über die Bestimmung der Lichtlaufzeiten ermittelt werden, ist es entscheidend, dass jeder Satellit über eine sehr genau gehende Uhr verfügt.

Nun gibt es zwei Effekte, die den Gang der Satellitenuhren relativ zu den Uhren auf der Erde beeinflussen: Einerseits geht nach der Speziellen Relativitätstheorie eine *bewegte* Uhr langsamer als in ihrem Ruhesystem. Danach sollten die Satellitenuhren zu langsam gehen. Andererseits geht nach der Allgemeinen Relativitätstheorie eine Uhr, die weiter von einer schweren Masse entfernt ist als eine andere, schneller als diese. Danach sollten die Satellitenuhren zu schnell gehen. Die beiden Effekte wirken in entgegengesetzte Richtungen. Da aber interessanterweise der Effekt, der von der Allgemeinen Relativitätstheorie herrührt, der größere ist, heben sie einander nicht auf, sondern führen zu einem Netto-Effekt: Die Satellitenuhren verhalten sich so, als ob sie um  $4,44 \times 10^{-8}$  Prozent schneller gingen als sie auf der Erde geeicht worden sind.

Das muss bei der Positionsbestimmung natürlich berücksichtigt werden. Dazu bedient man sich eines cleveren Tricks: Die Satellitenuhren sollten eigentlich mit einer Frequenz von 10,23 MHz schwingen. Tatsächlich werden sie aber auf die etwas kleinere Frequenz 10,229999995453 MHz geeicht. In der Praxis kann man so tun, also ob die Satellitenuhren auf 10,23 MHz geeicht wären und kümmert sich nicht weiter um die Relativitätstheorie.

Ohne diese Berücksichtigung der Relativitätstheorie wäre GPS kein sehr genaues System: In jeder Sekunde Messzeit fiel ein Fehler der Positionsbestimmung in der Größenordnung von 13 Zentimetern an. Während einer Stunde wären das bereits fast 500 Meter.

Zum Zeitpunkt der Entwicklung von GPS waren die Spezielle und die Allgemeine Relativitätstheorie bereits in vielen Situationen mit großer Genauigkeit experimentell überprüft worden (z. B. beim Müon-Zerfall, in Teilchenbeschleunigern und durch Beobachtungen von Doppel-Neutronenstern-Systemen). Man kann aber den Spieß natürlich umdrehen und das Funktionieren von GPS als weitere experimentelle Illustration für die Gültigkeit der Relativitätstheorie ansehen. Insbesondere die Allgemeine Relativitätstheorie ist mit GPS gewissermaßen alltagsrelevant geworden.

Mehr Informationen dazu gibt es auf der Website <http://www.ap.univie.ac.at/users/fe/rel.html>.