

Wie Navigationsgeräte Entfernungen messen können

Björn und Sören Christensen

In der Kolumne der letzten Woche hatten wir beschrieben, wie die Positionsbestimmung bei Satellitennavigation mittels mindestens dreier Satelliten mathematisch funktioniert. Voraussetzung hierfür war die Übersendung der exakten Position der Satelliten sowie der exakten Entfernung der Satelliten vom Messpunkt auf der Erde. Wie die Übermittlung der Entfernung vonstattengeht, hatten wir in der letzten Woche noch offengelassen, denn die Satelliten können ja nicht „wissen“, wo das ausgesandte Signal auf der Erde empfangen wird.

Tatsächlich bedient man sich hierzu eines Tricks, denn die Satelliten übermitteln dem GPS-Empfänger gar nicht ihre Entfernung, sondern sie senden nur permanent exakte Zeitsignale. Jeder Satellit ist hierzu mit präzisen Atomuhren bestückt. Wenn der GPS-Empfänger auch eine genaue Uhr hätte, könnte er aus der Zeitdifferenz die Entfernung zum Satelliten bestimmen. Allerdings verfügen die GPS-Empfänger in den Navigationsgeräten in der Regel nicht über derart präzise Uhren. Deshalb verwendet das Navigationsgerät die Zeitsignale mindestens eines vierten Satelliten, vergleicht diese mit den empfangenen Zeiten der anderen Signale und berechnet daraus die präzise Position. Dieser Prozess ist zusätzlich erschwert, weil durch Turbulenzen in der Atmosphäre oder Störungen der Signale die Laufzeiten verfälscht sein können. Aber auch diese Zeitabweichung lässt sich durch Zuhilfenahme mindestens eines vierten Satelliten berücksichtigen, denn die Störungen wirken sich auf alle übersandten Signale nahezu gleich aus.

Foto: Adobe Stock



Vier Satelliten für eine genaue Berechnung

Wenn auch die mathematische Berechnung etwas komplizierter ist, kann man sich dies vielleicht anhand des Kugelmodells, wie wir es in der letzten Kolumne beschrieben haben, vorstellen: Im

Schnittpunkt von drei Kugeloberflächen, der sich aus den Satellitenpositionen sowie den übersandten Entfernungen berechnen lassen könnte, sollte sich der GPS-Empfänger an einem bestimmten Punkt im dreidimensionalen Raum befinden. Wird ein vierter Satellit hinzugezogen, ergeben sich erst einmal vier mögliche Schnittpunkte der Kugeloberflächen. Diese liegen nur dann in genau einem Punkt, nämlich dem Standort des GPS-Empfängers, wenn die einheitlichen Zeitabweichungen präzise berücksichtigt werden.

Die gesamte Fragestellung reduziert sich damit auf die Zusammenführung der vier Schnittpunkte. Hierüber lässt sich die Zeitabweichung und somit die exakte Zeit des Signals sowie die genaue Entfernung fehlerfrei bestimmen. Mit mindestens vier Satelliten kann also die genaue Position des GPS-Empfängers berechnet werden, ohne dass die tatsächliche Entfernung zwischen den Satelliten und dem GPS-Empfänger direkt übermittelt wird.



Björn Christensen ist Professor für Statistik und Mathematik an der FH Kiel. **Sören Christensen** ist Professor für Stochastik an der Christian-Albrechts-Universität Kiel.

