

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS TIMING IST ALLES

Marcus Franz Glaner

Globale Satellitennavigationsdienste ermöglichen eine genaue Positionsbestimmung unabhängig von Uhrzeit, Wetter und Ort. Darüber hinaus eröffnen sie ein breites Forschungsfeld, etwa zur Untersuchung der Erdatmosphäre.

Tagtäglich verwenden wir das GPS auf dem Smartphone oder im Auto-Navigationsgerät, und innerhalb weniger Sekunden wissen wir unsere Position auf wenige Meter genau. Dieser heute selbstverständliche Vorgang ist das Ergebnis jahrzehntelanger Forschung und Entwicklung basierend auf einem relativ einfachen Prinzip. Anfänglich war GPS eigentlich nur auf militärische Nutzer und eine Genauigkeit von mehreren hundert Metern ausgelegt.

Moderne Geräte wie unsere Smartphones empfangen die Signale sogenannter globaler Satellitennavigationsdienste (Global Navigation Satellite Systems, abgekürzt GNSS). Dieser Überbegriff umfasst das US-amerikanische Global Positioning System (GPS), das russische GLONASS, das europäische Galileo und das chinesische System BeiDou. Jeder dieser globalen Satellitennavigationsdienste hat 24 bis 32 eigene Satelliten im Weltall (Abb. 1). Insgesamt umkreisen also mehr als 100 GNSS-Satelliten die Erde auf bekannten Orbits etwa 20.000 km über der Erdoberfläche (Abb. 2). Unaufhörlich senden diese Satelliten Signale aus und ein Empfänger (zB im Smartphone) misst deren Empfangszeitpunkt. Da der Aussendzeitpunkt des empfangenen Signals bekannt ist, kann die sogenannte Laufzeit berechnet werden. Diese Laufzeit ist nichts anderes als die Zeitdauer, die das Signal für den Weg vom Satelliten

zum Empfänger braucht (zB 0.07s). Weil sich GNSS-Signale mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, wird die Laufzeit damit multipliziert, um die Distanz zwischen dem Satelliten und dem Empfänger zu erhalten, die sogenannte Pseudo-Range. Sobald die Pseudo-Range zu mehreren GNSS-Satelliten bekannt ist, kann die Position des Nutzers berechnet werden (Abb. 3). Üblicherweise gilt: Je mehr Satellitensignale empfangen werden können, desto verlässlicher und genauer ist die berechnete Position.

Timing ist also alles – die GNSS-Positionierung basiert auf hochpräziser Zeitmessung. Aufgrund der enormen Höhe und Geschwindigkeit von GNSS-Satelliten wirken immense Kräfte

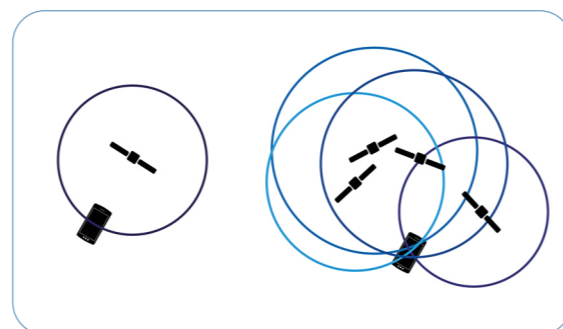


Abb. 3: Grundprinzip der GNSS-Positionierung. Jeder Satellit liefert eine Distanzinformation (links). Mit genügend Satelliten kann die Empfängerposition geschätzt werden (rechts).

auf sie (zB Effekte der Relativitätstheorie). Um sicherzustellen, dass GNSS-Satelliten ihre Signale im exakt richtigen Moment ausschicken, haben sie hochpräzise Atomuhren an Bord, die auf quantenphysikalischen Phänomenen basieren. Da unsere Empfänger auf der Erde normalerweise keine wirklich genaue und hochwertige Uhr verbaut haben, wird der Empfänger-Uhrfehler bei der Positionierung mitgeschätzt. Dies ermöglicht es, GNSS zur exakten Zeitsynchronisation zu verwenden.

Am Department für Geodäsie und Geoinformation der TU Wien arbeiten wir in der Forschungsgruppe Höhere Geodäsie tagtäglich daran, die GNSS-Positionierung zu verbessern. Dabei erreichen wir mit verschiedenen Verfahren Genauigkeiten im Zentimeter- oder sogar Millimeterbereich. Darüber hinaus kombinieren wir GNSS mit anderen Sensoren wie Beschleunigungsmessern, was unter anderem eine zuverlässige Positionierung in Tunneln ermöglicht. Durch unsere Forschung und mithilfe aktueller Services wie dem Galileo High Accuracy Service erhoffen wir uns, in naher Zukunft eine dezimeter- und damit spurgenaue Positionsbestimmungen mit dem Smartphone zu erreichen.

Da GNSS-Signale auf ihrem Weg vom Satelliten zur Erdoberfläche die Erdatmosphäre durchqueren müssen, werden ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit und die gemessene Distanz beeinflusst (daher der Begriff



Abb. 2: Nahaufnahme eines Galileo-Satelliten.

Pseudo-Range). In unserer Forschungsgruppe entwickeln wir Atmosphärenmodelle (zB mithilfe von Machine Learning), die diese Signalstörung korrigieren können. Umgekehrt nutzen wir genau diese Signalstörung, um die Erdatmosphäre mit GNSS-Signalen zu untersuchen. Bei der GNSS-Tomographie wird z.B. die wetterrelevante Schicht der Atmosphäre in dreidimensionale Pixel (Voxel) unterteilt, um hochpräzise Modelle zu erstellen. Dies ermöglicht es unter anderem, Wettervorhersagen zu verbessern. GNSS-Signale werden von uns aber auch verwendet, um die Rotation der Erde und deren Veränderung zu untersuchen. Damit lässt sich etwa die Verlangsamung der Erdrotation durch Effekte wie die Gezeitenreibung nachweisen.

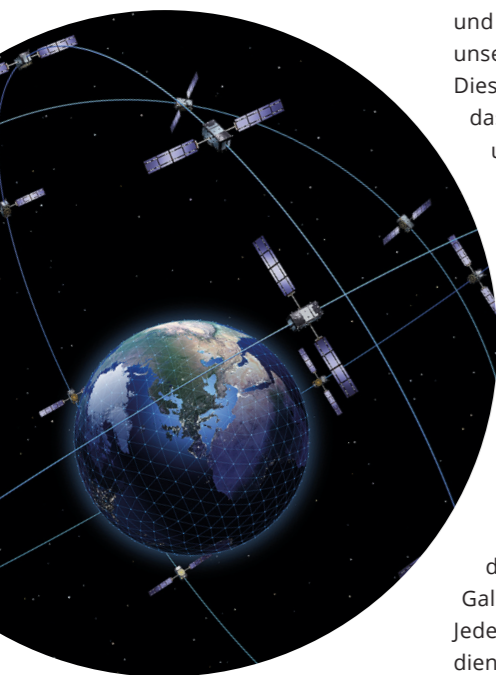


Abb. 1: Darstellung eines globalen Satellitennavigationsdienstes.

Fotos © ESA | M.F. Glaner

