



Mit Satelliten navigieren – von GPS zu Galileo

Ein Leben ohne Satellitennavigation ist kaum vorstellbar: GPS-Geräte würden nicht mehr funktionieren. Das Navigationssystem im Auto wäre stumm. Schiffe müssten im Hafen liegen – und damit würde auch das Öl bald knapp, da große Tanker den Weg über die Meere kaum noch finden könnten. Flugzeuge hätten ähnliche Probleme. Rettungsdienste würden länger bis zum Einsatzort brauchen – und und und ...

Diese wenigen Beispiele zeigen: Wir sind stärker denn je abhängig von einem möglichst reibungslosen Verkehrsfluss – egal, ob es um wirtschaftliche, öffentliche oder private Dinge geht. Und ein gut funktionierendes Verkehrssystem ist wiederum abhängig von der Satellitennavigation.

In 20.000 km Höhe umkreisen über 30 Satelliten des Global Positioning Systems (GPS) die Erde. Mit ihrer Hilfe finden wir unsere Position und unseren Weg – und das mit einer Genauigkeit von bis zu 10 m. Und mit dem neuen europäischen Navigationssystem Galileo soll das noch weiter verbessert werden.

Mit Satelliten navigieren – von GPS zu Galileo



Der Sextant – bis heute ein wichtiges Instrument zur Orientierung auf See

Vom Kompass bis zum GPS

Seit Jahrtausenden suchen die Menschen nach Möglichkeiten, sich auf der Welt zurechtzufinden. Der Wunsch und die Notwendigkeit nach Orientierung ist so alt wie die Menschheit. Der Begriff Navigation beschreibt den Vorgang, einen sicheren Weg von einem Ort zu einem anderen zu finden. Die einfachste Form der Navigation ist die Orientierung an markanten Punkten im Gelände wie z. B. an Bergen und Leuchttürmen oder an Flüssen. Schon vor mehreren Tausend Jahren begannen die Menschen, solche markanten Merkmale ihrer Umgebung auf Karten festzuhalten. Dies erleichterte ihnen die Navigation sehr.

Vor etwa 2.000 Jahren wurde in China der Kompass erfunden. Eine kleine, beweglich gelagerte Magnetnadel kann sich am magnetischen Feld der Erde ausrichten und weist somit stets in Nord-Süd-Richtung. Mit der Anwendung dieses Instruments war es unter Zuhilfenahme einer Karte möglich, den gewünschten Weg zügig und sicher zu finden. Vor allem die sich damals entwickelnde Seefahrt benötigte genaue Navigationsmethoden. Später konnten die Menschen mit moderneren Schiffen immer weiter reisen und sicher zurückkehren – doch nicht ohne eine weitere Erfindung: den Sextanten. Mit Hilfe von Sextanten ist die Bestimmung von geografischer Breite und Länge möglich. Die Seefahrer konnten so die Position des Schiffes genau ermitteln. Die Entwicklung dieser nautischen Navigationsinstrumente war eine der Voraussetzungen für die Entdeckung neuer Kontinente seit dem Ende des 15. Jahrhunderts. Christoph Kolumbus landete in Amerika an (wenn auch aufgrund eines Navigationsfehlers) und Ferdinand Magellan umsegelte die Welt (auch wenn er selbst unterwegs starb, gelang einem Teil seiner Mannschaft die Weltumrundung).

Weitere entscheidende Schritte in der Entwicklung moderner Navigationsverfahren waren die Einführung des einheitlichen metrischen Maßsystems, die Vermessung der Erde und die Entwicklung von allgemein gültigen Koordinatensystemen. Die Erkenntnis, dass die Erde nicht die Gestalt einer idealen Kugel hat, sondern eher die eines sog. Rotationsellipsoiden, veranlasste Forscher auf der

ganzen Welt, immer neue und bessere Koordinatensysteme zu entwerfen. Für die Positionsbestimmung auf der Erde und im erdnahen Weltraum wird heute das World Geodetic System 1984 (WGS 84) verwendet. Der Beginn des 20. Jahrhunderts läutete eine neue Phase in der Navigation ein. Die drahtlose Telegrafie ermöglichte Kommunikation über Funk. Der technische Fortschritt führte in der Seefahrt bald zur Entwicklung der Funkortung und Radartechnik und somit zur Funknavigation. Mit Beginn des Luft- und Raumfahrtzeitalters stand neben der Antriebstechnik auch immer die Forderung nach moderner Steuer- und Navigationstechnik für Flugzeuge und Raketen im Vordergrund.

Wissenschaftler wie Albert Einstein schafften mit ihren Theorien die Grundlagen der Raumfahrt und entwickelten ein neues Verständnis von Raum und Zeit. Mit Sputnik 1 startete 1957 der erste Satellit. Die Entwicklung ging rasant weiter: 1961 umkreiste der erste Mensch in einem Raumschiff die Erde, 1969 betrat ein Astronaut das erste Mal den Mond, 1973 nahm die erste bemannte Raumstation ihren Betrieb auf. Ab Mitte der Siebzigerjahre wurde im Auftrag des US-amerikanischen Militärs mit dem Aufbau des GPS-Systems begonnen. Es ging 1995 offiziell in Betrieb.



Navigationssatellit des GPS-Systems

Heute können wir damit auf der ganzen Welt unsere Position ermitteln. Und die Entwicklung geht weiter: Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo kommt!

Geocaching – Schnitzeljagd mit Satellitenunterstützung

Wie verlief die Navigation vor 500 Jahren?
Wie konnten Schiffe bei Tag und bei



Geocaching-Tour auf dem DLR-Gelände in Neustrelitz

Nacht den Kurs finden ohne Land in der Nähe? Das ist keine einfache Frage! Viele kennen zwar sicher den Sextanten, einen Kompass oder auch Längen- und Breitenkreise. Wie aber ohne die Hilfe eines modernen „Navis“ der richtige Weg gefunden werden kann, weiß heute kaum noch jemand. Im DLR_School_Lab Neustrelitz begeben sich die Schülerinnen und Schüler auf eine Reise durch die Geschichte der Navigation. Die Triangulation als Ortungsmethode und der Umgang mit Sextanten werden ihnen vorgestellt und können selbst ausprobiert werden. Die Schüler lernen die verschiedenen Kartenbezugssysteme kennen und erfahren mehr über die Arbeitsweise der Satelliten. Nach der Vermittlung des erforderlichen Rüstzeugs wartet eine spannende Geocaching-Tour mit modernen Navigationsgeräten auf die Jugendlichen. Wie bei einer Schnitzeljagd suchen sie bestimmte Punkte mit Hinweisen: die Geocaches. Zu ihnen gelangt man jedoch nicht, indem eine gelegte Spur verfolgt wird, sondern mit Hilfe des Navigationsgerätes. Dieses Geocaching ist inzwischen fast so etwas wie ein „Volkssport“ geworden: Die erforderlichen Koordinaten öffentlicher Touren sind im Internet zu finden. Nutzer können die Geocaches suchen und ihre Erfahrungen anschließend im Internet mitteilen. Das DLR_School_Lab Neustrelitz verfügt über 21 Geocaches, die nicht im Internet veröffentlicht wurden. Sie sind nur den Jugendlichen zugänglich, die das Navi-

gationsexperiment durchführen. Jeder verwendete Geocache enthält eine Frage, die die Finder beantworten müssen: Wie viele Satelliten sind für die Positionsbestimmung mindestens notwendig? Wann starteten die ersten GPS-Satelliten ins All? Wie viele Satelliten umfasst das Galileo-System? In welcher Entfernung von der Erde bewegen sich die Galileo-Satelliten? Alles interessante Fragen, die das im Schülerlabor Gelernte während der Tour festigen sollen. Für jeden gefundenen Cache und jede richtig beantwortete Frage bekommen die Schüler Punkte. Am Ende des Labortages wird die beste Gruppe gekürt.

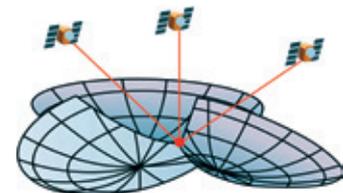
Abstandbestimmung durch Laufzeitmessung

Ein Navigationssatellit sendet ständig Signale zur Erde, wo sie von unserem „Navi“ empfangen werden. Dabei kann der Satellit den Empfänger auf der Erde nicht orten. Das gesendete Signal liefert Informationen zu den drei aus der Mathematik bekannten Koordinaten x , y und z sowie einen hochgenauen Zeitwert, der mit Hilfe einer Atomuhr ermittelt wird. Sie misst die Zeit auf den fünf milliardstel Bruchteil einer Sekunde genau.

Das Prinzip, die Entfernung zwischen Satellit und Empfänger zu ermitteln, ist eigentlich denkbar einfach. Es beruht auf einer Zeitmessung: Ähnlich der Bestimmung der Entfernung zu einem Gewitter, bei der die gestoppte Zeit zwischen Blitz und nachfolgendem Donner mit der Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s) multipliziert wird, misst ein Navigationsgerät die Laufzeit von Funksignalen der Satelliten. Ein solches Signal breitet sich viel schneller aus als der Schall – nämlich mit Lichtgeschwindigkeit (ca. 300.000 km/s). Während z. B. ein Gewitter bei einer „Signallaufzeit“ von 10 s etwa 3.400 m entfernt ist, bedeutet eine im „Navi“ gemessene Laufzeit von 0,7 s eine Entfernung von 21.000 km zum Satelliten. Dabei gilt: Eine Zeit- Ungenauigkeit eines Navigationssystems von beispielsweise 0,00001 s hätte einen Entfernungsunterschied von 3 km zur Folge. Das ist für ein modernes Navigationssystem natürlich nicht akzeptabel. Und darum befinden sich die hochgenauen Atomuhren an Bord der Satelliten.

Ortung durch Triangulation

Wenn die gemessenen Laufzeiten von allen Störfaktoren „bereinigt“ wurden, kann der Standort durch den Empfänger ermittelt werden. Das Verfahren der Ortung heißt Triangulation. Die Grafik



Funktionsweise der Ortung

veranschaulicht das Prinzip: Ähnlich wie bei einem Stativ gibt es drei Standbeine. Drei Satelliten senden jeweils ihre Standort- und Zeitkoordinaten zum Empfänger. Die aus den Laufzeiten berechneten Entfernungen sind die Radien von drei Kugeln mit dem jeweiligen Satelliten im Mittelpunkt. Der Schnittpunkt der Oberflächen dieser drei Kugeln ist die gesuchte Position des Empfängers. Mit Hilfe der Daten eines vierten Satelliten erkennt das „Navi“ Uhrenfehler und korrigiert diese zwecks eindeutiger Positionsbestimmung.

Ein wichtiges Thema der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im DLR Neustrelitz ist die präzise Schiffsnavigation per Satellit. Ziel der Arbeiten ist die zentimetergenaue Navigation von Schiffen – z. B. bei der Hafeneinfahrt oder beim Anlegen mittels boden- und satellitengestützter Leitsysteme – sowie die Überwachung des Schiffsverkehrs auf der Ostsee, einem der meistbefahrenen Gewässer weltweit.



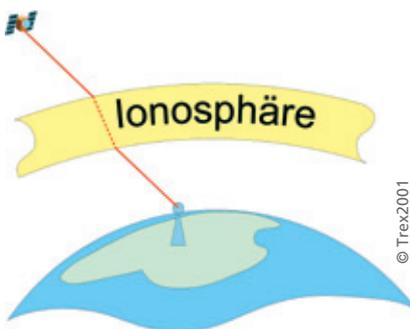
Hochgenaue Schiffsnavigation wird im Forschungshafen Rostock getestet

Die Störfaktoren

So einfach, wie sich das Verfahren der satellitengestützten Positionsbestimmung anhört, ist es nicht. Vielfältige Einflüsse müssen berücksichtigt werden, um die gewünschte hohe Genauigkeit des Systems zu gewährleisten.

Brechung

Versucht man einen im Wasser liegenden Gegenstand zu greifen, so fasst man zunächst daneben, da der Lichtweg sich beim Übergang von Luft zu Wasser ändert. Wir sehen das Objekt durch diese Brechung im Wasser an einer anderen Stelle. Ähnlich dem Licht verhält sich das Signal eines Satelliten beim Durchgang durch die Erdatmosphäre. Es legt nicht den direkten (also kürzesten), sondern



Das Signal des Satelliten wird durch die Ionosphäre beeinflusst. Die Laufzeit verändert sich.

einen längeren Weg zurück. Die Signallaufzeit wird beim Durchgang durch die Atmosphäre also verfälscht. Dieser Fehler muss berücksichtigt und korrigiert werden. Dazu erforderliche Forschungsarbeiten wurden und werden auch im DLR Neustrelitz durchgeführt. Dabei ist die Atmosphäre kein statisches Gebilde: So übt die sich ständig ändernde Aktivität der Sonne Effekte auf die Ionosphäre aus – und das Ziel der DLR-Forschung ist es, die ablaufenden Prozesse und ihre Folgen genauer zu verstehen. Dieses Verständnis wiederum ist Voraussetzung für die „Bereinigung“ der genannten Signalfehler.

Relativistische Effekte

Auswirkungen auf das Signal haben auch sog. relativistische Effekte. Eine Uhr geht nach Einsteins Relativitätstheorie auf dem Mount Everest schneller als auf Höhe des Meeresspiegels und bei sehr hoher Geschwindigkeit langsamer als im ruhenden Zustand. Bei Navigationssatelliten, die sehr weit von der Erde entfernt sind, aber auch sehr schnell fliegen, beeinflussen beide Effekte die Borduhren – und in der Summe vergeht die Zeit dort schneller! Auch wenn uns das zunächst äußerst merkwürdig erscheint, so wirken sich diese Effekte doch spürbar auf die Laufzeitmessung aus und müssen berücksichtigt werden, damit das „Navi“ bei uns im Auto überhaupt funktioniert und richtige Werte anzeigt.

Abschirmung von Satelliten

Neben den genannten, zunehmend beherrschbaren Problemen kann es trotzdem vorkommen, dass Satellitensignale nicht vollkommen störungsfrei empfangen werden. Bäume, Felsen oder Gebäude können die Signalqualität verschlechtern oder gar das Signal unterbrechen. Deshalb ist es immer wichtig, so viele Satelliten wie möglich, mindestens aber vier, zu empfangen. Bei professionellen Anwendungen werden darum auch mehrere Satellitennavigationssysteme genutzt. Zusätzlich kommen vielfach sog. boden- und satellitengestützte Ergänzungssysteme zum Einsatz.

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Das DLR Neustrelitz

Der DLR-Standort Neustrelitz liegt etwa 100 Kilometer nördlich von Berlin im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern. Hier arbeiten über 70 Wissenschaftler, Ingenieure und Angestellte.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Standort sind den Themenbereichen satellitengestützte Erdbeobachtung, Navigation und Ionosphärenerkundung zugeordnet und gliedern sich in verschiedene Forschungsprogramme ein.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

DLR_School_Lab Neustrelitz
Kalkhorstweg 53
17235 Neustrelitz

Leitung: Dr. Albrecht Weidermann
Telefon: 03981 237 862
oder 03981 480 220
Telefax: 03981 237 783
E-Mail: schoollab-neustrelitz@dlr.de

www.DLR.de/dlrschoollab