

Satelliten, wo seid ihr?

Assisted-GPS zur schnellen und genauen Satellitennavigation

Das Globale Positionierungssystem GPS hat so seine Tücken: Oft vergehen Minuten, bis nach dem Einschalten eine gültige Position angezeigt wird, und bei schlechten Empfangsbedingungen, z.B. in einem geschlossenen Raum, ist vielfach eine Messung unmöglich. Mit Unterstützung von externen Daten werden Ortung und Navigation beschleunigt oder unter erschwerten Empfangsbedingungen erst ermöglicht. Das Verfahren wird Assisted-GPS (A-GPS oder AGPS) genannt und setzt sich vor allem bei Handys mit eingebautem GPS-Receiver immer mehr durch.

Von Jean-Marie Zogg

Unmittelbar nach dem Einschalten des GPS-Empfängers und in geschlossenen Räumen soll die richtige Position angezeigt werden: Dies fordern anspruchsvolle Anwender. Beim Einsatz eines Navigationsgeräts erwartet der Autofahrer, dass beim Anlassen des Fahrzeugs oder beim Verlassen des Tunnels die Position auf Meternauigkeit augenblicklich erfasst wird. Innerhalb von Gebäuden, z.B. in einem Einkaufszentrum, sollte der Empfänger die exakten Koordinaten anzeigen. In der Regel ist bei kombiniertem Einsatz von GPS und Handy der GPS-Empfangsteil aus Stromspargründen meistens ausgeschaltet, denn GPS-Receiver sind Stromfresser. Wird dann die Ortungsfunktion benötigt, z.B. beim Absetzen eines Notrufs auf der Nummer 112, ist eine Latenzzeit von einigen Minuten unzumutbar, nach einigen Sekunden müssen Länge und Breite bekannt sein.

Um die limitierenden Faktoren bzgl. Messbereitschaft und Empfindlichkeit zu verstehen, ist ein Blick auf die Funktionsweise eines GPS-Empfängers nötig. Alle 31 GPS-Satelliten (Stand September 2010) senden ihre Informationen auf der gleichen Frequenz L1 von 1575,42 MHz. Um trotzdem die Signale empfan-

gen und decodieren zu können, wird das Zugriffsverfahren CDMA (Code Division Multiple Access) eingesetzt. Jedes Satellitensignal ist mit einem quasizufälligen Code (Pseudorandom Noise, PRN-Code) verschlüsselt. Der Schlüssel ist für die zivilen Signale bekannt und besteht aus einer sich wiederholenden Folge von 1023 Bits mit einer Zeitdauer von einer Millisekunde.

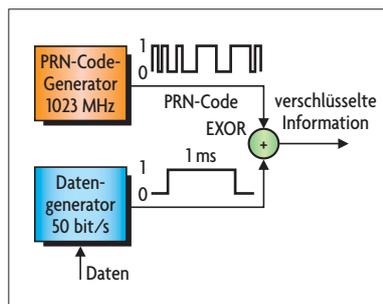


Bild 1. Vereinfachtes Satellitenblöckschema. Die Nutzdaten der GPS-Satelliten werden mit 50 bit/s ausgesendet und mit dem Pseudorandom Noise (PRN) verschlüsselt.

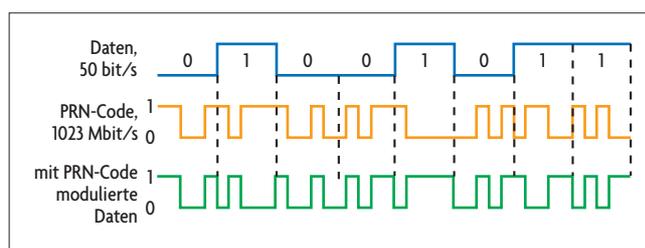


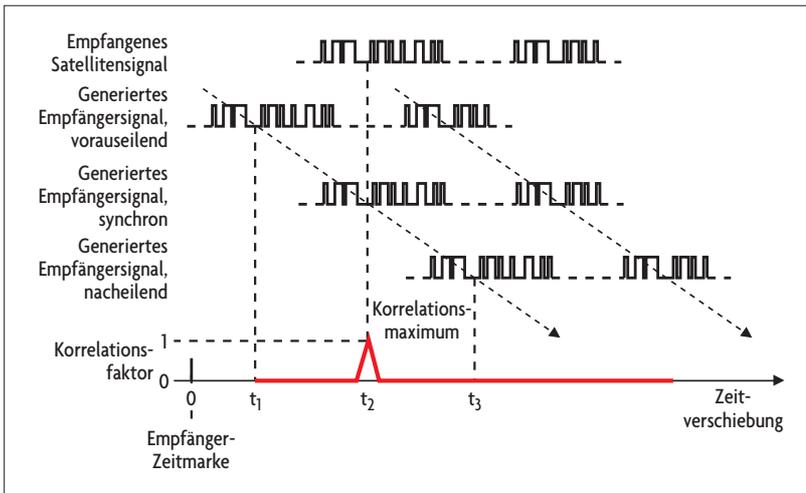
Bild 2. Datenstruktur eines GPS-Satellitensignals (vereinfacht dargestellt).

Jeder Satellit sendet Informationen, die so genannte Navigationsnachricht, zur Erde. Diese Nachrichten enthalten Daten über den Verlauf der Satellitenbahnen, die Zeit etc. und werden mit einer Datenrate von 50 bit/s ausgesendet. Somit wird ein Dateninformationsbit von 20 ms 20 Mal mit dem PRN-Code verschlüsselt (Bild 1 und Bild 2).

Langwierige Signalauswertung

Der GPS-Empfänger empfängt die CDMA-Signale von einem oder mehreren Satelliten. Für jedes einzelne Signal wird eine Korrelation stattfinden. Da der Empfänger zur Zeit des Empfangs die Nummer und somit den PRN-Code des sendenden Satelliten noch nicht kennt, generiert er bis zu 32 verschiedene PRN-Codes. Diese Codes werden jeweils um ein halbes Bit zeitlich verschoben, bis ein PRN-Code im Korrelationsmaximum zeitlich und formmäßig mit dem Satellitensignal übereinstimmt (Bild 3: Korrelationsmaximum mit der Zeitverschiebung t_2 erreicht). Um das Korrelationsmaximum zu finden, werden pro Millisekunde $1023 \times 2 = 2046$ Suchfunktionen ausgeführt.

Erst wenn das Korrelationsmaximum gefunden ist, können die Informationsdaten decodiert werden. Der Suchvorgang wird durch die Bewegung der Satelliten noch erschwert: Die Satelliten sind in Bewegung, und deswegen verschiebt sich die Empfangsfrequenz aufgrund des Dopplereffektes um $\pm 4630 \text{ Hz} \times \cos(\text{Elevationwinkel})$. Steht der Satellit im Zenit (Elevation = 90°) beträgt die Frequenzverschiebung Null. Am Horizont (Elevation = 0°) ist die Verschiebung am größten: $\pm 4,6 \text{ kHz}$. Durch systematisches Verschieben und Vergleichen aller Codes (Bild 3) und der Frequenz mit sämtlichen ankommenden Satellitensignalen ergibt



! Bild 3. Korrelation durch Suchen des Korrelationsmaximums.

sich zu einem bestimmten Zeitpunkt einmal eine vollständige Übereinstimmung bei den Codes (d.h., der Korrelationsfaktor ist 1, Bild 4). Eine Suchposition in der Code-Frequenz-Ebene wird BIN genannt.

Wird eine Frequenzauflösung von 200 Hz verlangt, kann sich eine Gesamtsuchzeit von $(2 \times 23) \times (1023 \times 2) \times 1 \text{ ms} = \text{ca. } 93 \text{ s}$ ergeben, und dies pro Satellit. Zusätzlich wird die Suchzeit wegen der Ungenauigkeit des internen Oszillators verlängert, z.B. ergibt eine Abweichung von 1 ppm der Oszillatorfrequenz eine Frequenzdrift von 1500 Hz (bezogen auf L1).

Erst wenn der Empfänger das Signal synchronisiert hat, können die Daten – die so genannte Navigationsnachricht – gelesen werden. Die Navigationsnachricht wird zur Berechnung der aktuellen Position der Satelliten und zur Bestimmung der Laufzeiten benötigt. Die Navigationsnachricht ist ein kontinuierlicher Datenstrom von 50 bit/s und wiederholt sich alle 30 s. Jeder Satellit übermittelt im Halbminuten-Takt folgende Informationen zur Erde:

- ▶ Systemzeit und Zeitkorrekturwerte,
- ▶ hochpräzise eigene Bahndaten (Ephemeriden),
- ▶ angenäherte Bahndaten aller Satelliten (Almanach),
- ▶ Systemzustand etc.

Die Ephemeriden-Daten werden im Intervall von 30 s ausgesendet und sind nur vier Stunden gültig. Erst wenn die Daten von mindestens vier Satelliten entschlüsselt sind, wird die Posi-

tion des Anwenders berechnet. Es sind noch verschiedene Einschaltmoden zu unterscheiden; die Einschaltzeit wird als TTFF (Time To First Fix) bezeichnet:

- ▶ Kaltstart: Der GPS-Empfänger war längere Zeit ausgeschaltet und hat keine gültigen Daten. Die ungefähre Position des Empfängers und die Zeit sind unbekannt.
- ▶ Warmstart: Der GPS-Empfänger war zwischen vier Stunden und zwei Wochen ausgeschaltet. Die Almanach-Daten sind noch gültig und Zeit bzw. ungefähre Position sind bekannt.
- ▶ Heißstart: Der GPS-Empfänger war weniger als vier Stunden ausgeschaltet, dadurch sind die Ephemeriden-Daten noch gültig.

Moderne GPS-Empfänger haben bei guten Empfangsbedingungen folgende ungefähre TTFF-Einschaltzeiten [1]:

- ▶ 44 s bei Kaltstart,
- ▶ 20 s bei Warmstart,
- ▶ 1 s bei Heißstart.

■ Wovon hängt die Empfindlichkeit ab?

Im Freien beträgt die Leistung des GPS-Empfangssignals gemäß Spezifikationen mindestens -160 dBW (-130 dBm). Das Maximum der spektralen Leistungsdichte des empfangenen Signals wird mit -190 dBm/Hz angegeben. Die spektrale Rauschleistungsdichte, z.B. vom Weltall-

Hintergrundrauschen, beträgt zirka -174 dBm/Hz (bei einer Temperatur von 290 K). Das Maximum des empfangenen GPS-Signals liegt somit weit unter dem Rauschsignal.

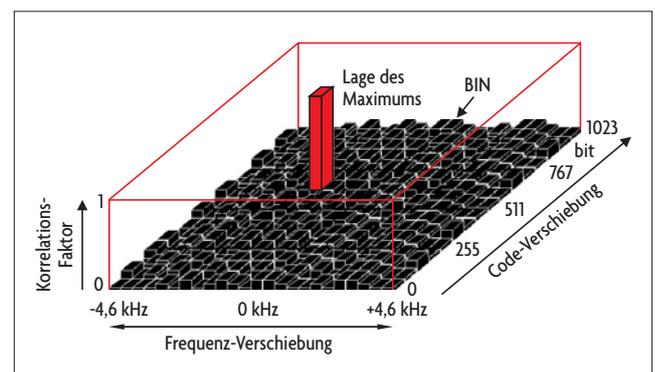
Damit das Signal decodiert werden kann, muss der Abstand Nutzsignal zu Rauschsignal (C/No) ca. 24 bis 29 dB-Hz betragen. Ein moderner GPS-Chip benötigt deshalb an der Antenne ca. eine Signalstärke von -145 dBm bis -150 dBm , um ein Signal ohne Hilfsdaten zu detektieren. Eine Betonmauer hat aber eine Dämpfung von 20 bis 30 dB. Es ist leicht einzusehen, dass im Falle einer übermäßigen Abschwächung keine Signaldetektierung mehr möglich ist.

■ Unterstützung mit Hilfsdaten

Die Positionsbestimmung zu beschleunigen oder gar die Messung bei schwachen Signalen zu ermöglichen, ist der primäre Zweck der Unterstützung mit Hilfsdaten. Dieser Ansatz wird als Aiding oder Assistance bezeichnet und bei Assisted-GPS verwendet. Der GPS-Empfänger fordert Hilfsdaten über das Mobilfunknetz oder über das Internet an. Die Hilfsdaten enthalten Angaben z.B. über:

- ▶ die Satellitenkonstellation (Almanach),
- ▶ präzise Bahndaten (Ephemeriden, Orbits),
- ▶ Zeitinformationen,
- ▶ Dopplerfrequenz und Frequenz-Offset (-Fehler) des GPS-Empfängers.

Mit der Bereitstellung dieser Hilfsdaten kann der GPS-Empfänger die Position innerhalb kurzer Zeit berechnen, auch wenn die Empfangsbedingungen ungünstig sind. Oft stellt dies



! Bild 4. Suchen des Korrelationsmaximums in der Code-Frequenz-Ebene.

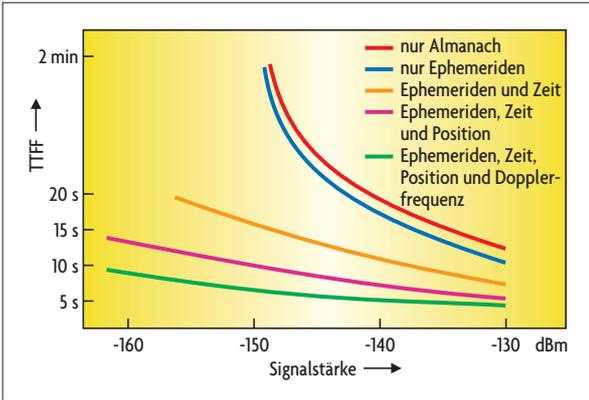


Bild 5. Tendenzieller Verlauf der TTFF (Time To First Fix) bei verschiedenen Hilfsdaten und in Abhängigkeit der Signalstärke.

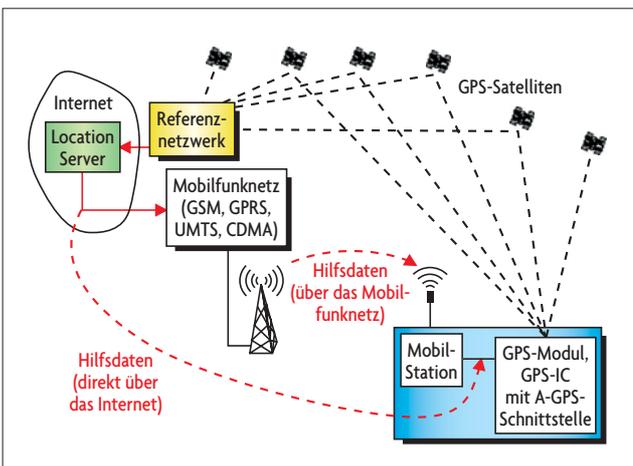
bei schwachen Signalen den einzigen Weg dar, um eine Positionsbestimmung zu erwirken. Je nach Komplexität und Vollständigkeit der Hilfsdaten ist die Verkürzung der Startzeit markant. Die Startzeit ist ebenfalls abhängig von der Signalstärke des GPS-Signals. Generell gilt: Je mehr Hilfsdaten zur Verfügung stehen, desto kürzer ist die Startzeit. **Bild 5** zeigt die ungefähre Kaltstartzeit TTFF, wenn unterschiedliche Hilfsdaten verwendet werden [2].

Um A-GPS einzusetzen, muss die Mobilfunkstation vier Satellitensignale empfangen und daraus die Hilfsdaten extrahieren. Der Empfang von Hilfsdaten setzt voraus, dass der GPS-Empfänger eine entsprechende Schnittstelle hat.

Bild 6. Assisted-GPS-Gesamtsystem. Die GPS-Empfänger im Referenznetzwerk leiten ihre Daten an einen zentralen Server weiter, der die Hilfsdaten bereitstellt.

Offline und Online A-GPS

Ein typisches A-GPS-Gesamtsystem, wie im Blockdiagramm (**Bild 6**) illustriert, besteht aus einem globalen Referenznetzwerk von GPS-Empfängern, einem zentralen Server, der Hilfsdaten bereitstellt, und A-GPS-fähigen End-



geräten. Die GPS-Empfänger im globalen Referenznetzwerk empfangen die relevanten Satelliten-Informationen und leiten diese an den Location Server weiter. Der Server berechnet die Hilfsdaten und überträgt sie (über das Mobilfunknetz oder über das Internet) auf Anfrage zu den GPS-Endgeräten, die anschließend die erste Positionsangabe schneller berechnen können. Zwei verschiedene Techniken werden angewendet, um die Hilfsdaten einzusetzen: Offline- und Online-Prinzip.

Bei A-GPS mit Offline-Hilfsdaten werden dem GPS-Empfänger vorausberechnete Bahndaten übermittelt. Die Orbitdaten berechnet der Server aus den Informationen des Referenznetzwerks und legt sie in einem Speicher ab. Die Verbindung zum Server wird nach dem Herunterladen der Datei abgebrochen. Wenn der GPS-Empfänger das nächste Mal startet, wird er aus diesen vorausberechneten und gespeicherten Orbits die aktuellen Bahndaten herausuchen und zur Navigation verwenden. Er muss also nicht warten, bis die Daten von den Satelliten heruntergeladen werden, sondern kann gleich mit der Navigation beginnen. Die Hilfsdaten können je nach Anbieter zwischen zehn und 14 Tagen gültig sein, wobei zu beachten ist, dass die resultierende Positionsgenauigkeit mit der Zeit abnimmt. Je nach Anbieter kann der Offline-Dienst eine andere Bezeichnung haben: Long Term Orbits (LTO), AssistNow, InstantFix, AlmanacPlus etc.

Beim Online-Prinzip (Echtzeit-Prinzip) werden die Hilfsdaten unmittelbar bei Bedarf in Echtzeit von einem Location Server heruntergeladen und sind nur kurzzeitig gültig. Um diese Funktion zu ermög-

lichen, muss ein Hilfsprogramm (so genannter Client) im mobilen Empfänger installiert werden. Der Server übermittelt die Hilfsdaten (zirka 1 bis 3 Kbyte) zum Client der Mobilstation.

Ein GPS-Empfänger kann wahlweise einzelne Hilfsdaten oder alle Hilfsdaten anfordern. Zum Beispiel verfügen die u-blox-Empfangsmodule der Serien 5 und 6 über verschiedene Befehle und können selektiv folgende Daten laden [3]: Zeitinformationen, Datum, Ephemeriden, Almanach, Eigenschaften der Ionosphäre etc.

Anwendung der A-GPS-Daten

Bahndaten

Für eine Positionsbestimmung müssen die Bahndaten (Ephemeriden) der Satelliten bekannt sein. Die von der Na-

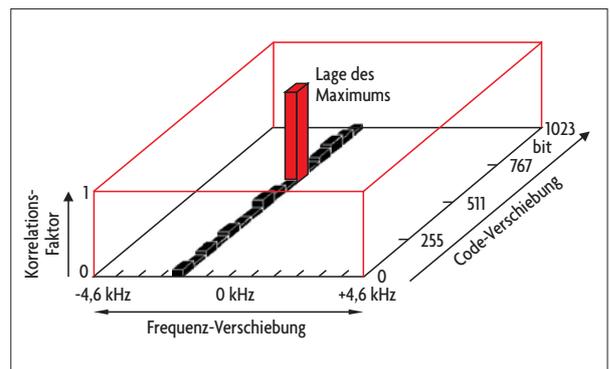


Bild 7. Beschleunigung des Suchvorganges bei A-GPS durch Reduzierung der Suchpositionen.

vigationenachricht übermittelten Ephemeriden sind nur vier Stunden gültig und brauchen zur Übertragung 30 s. Die Orbitdaten welche bei Offline-A-GPS übertragen und gespeichert werden, sind mehrere Tage gültig. Bei Online-A-GPS haben die Daten die gleiche Gültigkeitsdauer wie bei GPS. Wenn die Ephemeridendaten bekannt sind, können die Satelliten viel schneller gefunden werden.

Daten bezüglich Dopplerfrequenz

Der Suchbereich wird eingeschränkt, wenn Dopplerfrequenz und Frequenz-Offset des GPS-Empfängers bekannt sind (**Bild 7**). Dadurch wird die Signal-Akquisition beschleunigt, was eine markante Zeitersparnis mit sich bringt.

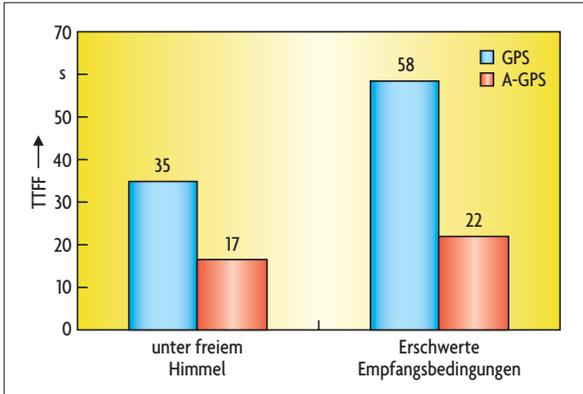


Bild 8. Einfluss von A-GPS auf den Mittelwert der Kaltstartzeit (TTFF) unter freiem Himmel und bei eingeschränkter Sicht.

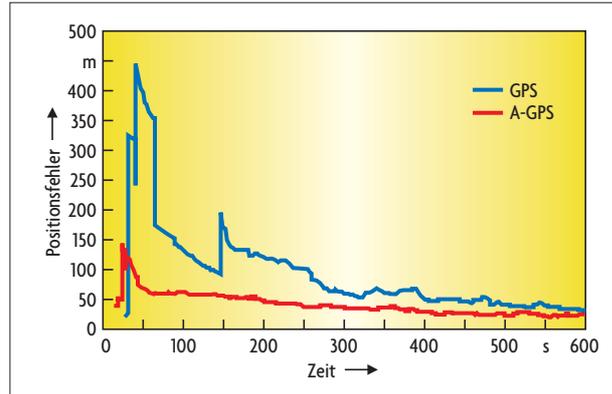


Bild 9. Einfluss von Assisted-GPS auf den Positionsfehler als Funktion der Zeit.

Das Korrelationsmaximum muss nur noch in Funktion der Code-Verschiebung gesucht werden. Wird eine Frequenzauflösung von 200 Hz verlangt, kann sich eine Gesamtsuchzeit pro Satellit um den Faktor 46 (2×23) reduzieren, verglichen mit dem Suchvorgang ohne Kenntnis der Dopplerfrequenz.

Navigationsdaten

Die Empfindlichkeit eines GPS-Moduls kann durch Erhöhung der Korrelationszeit (Integrationszeit oder Dwell-Time) verbessert werden. Je länger ein Korrelator in einer bestimmten Position der Code-Frequenzebene verweilt, um so niedriger das notwendige GPS-Signal an der Antenne. Wird die Integrationszeit um die Zeit T_{ms} (Zeit in Millisekunden) erhöht, ergibt sich eine Vergrößerung des Systemgewinns um G_c [4]:

$$G_c \text{ (dB)} = 10 \times \log_{10} (T_{ms})$$

Eine Verdoppelung der Integrationszeit von 1 auf 2 ms ergibt eine Erhöhung des Signal-Rausch-Abstandes bzw. der Empfindlichkeit um 3 dB. In der Praxis ist eine Verlängerung der Korrelationszeit auf 20 ms unproblematisch. Da die Datenbits in der Navigationsnachricht alle 20 ms wechseln können, muss bei einer Integrationszeit über 20 ms der Wert der übertragenen Datenbits bekannt sein. Bei A-GPS ist dies der Fall. Um eine hohe Akquisitions-Empfindlichkeit durch lange Integrationszeit zu gewährleisten und trotzdem rasch (innerhalb einer Sekunde) eine gültige Positionsbe-

stimmung zu erhalten, wird die Anzahl der implementierten Korrelatoren massiv erhöht.

Die Akquisitions-Empfindlichkeit von modernen GPS-Empfängern beträgt ca. -160 dBm. Da der GPS-Betreiber (DoD, USA) eine Signalstärke im Freien von -130 dBm garantiert, können GPS-Empfänger noch in Bauten funktionieren, die das Signal um 30 dB abschwächen.

Referenznetzwerk zur schnelleren Positionsbestimmung

Zur Vorausberechnung der Satellitenbahnen, wie für die Bereitstellung von Echtzeit-A-GPS-Daten (Aiding-Daten), ist ein umfangreiches, weltweites Netz von Monitorstationen notwendig, welches die Bewegung der Satelliten permanent und sehr genau erfasst. Diese Daten werden herangezogen, um in einem leistungsfähigen Location Server Vorhersagen über die Satellitenbewegungen der nächsten Tage vorzunehmen. Ein solches Netzwerk hat z.B. das IGS aufgebaut. Der International GNSS-Service (IGS, auch International GPS-Service [5]) betreibt ein erdumspannendes GNSS-Permanetz.

Der Einfluss von A-GPS wurde in einem Projekt untersucht [6]. Bild 8 zeigt den Einfluss von A-GPS auf die Kaltstartzeit (TTFF) unter freiem Himmel und in einem Gebiet mit erschwerten Empfangsbedingungen (enge Schlucht in den Bündner Bergen). Dank A-GPS wird eine erste Positionsmessung schneller möglich. Auch Positionsfehler stabilisieren sich unter erschwerten Empfangsbedingungen

mit A-GPS viel schneller als ohne Hilfsdaten (Bild 9). jk

Literatur

- [1] Eissfeller, B.; et al.: A Methodology for the Estimation of the Time-to-First-Fix. Inside GGNN, March/April 2010, S. 55.
- [2] Carver, C.: High Sensitivity versus Assisted Techniques. GPS-World, September 2005.
- [3] u-blox 5/6 Receiver Description (Module), www.u-blox.com
- [4] Van Diggelen, F.: A-GPS. Artech House Verlag, S. 153.
- [5] International GSS Service: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>
- [6] Costa, L.; Cramer, G.: Untersuchung der Performance von A-GPS. Bachelorarbeit, HTW Chur 2009.



**Prof. Dipl.-Ing. FH
Jean-Marie Zogg**

ist Professor für Elektronik, Mobile Computing und Elektrotechnik an der Fachhochschule HTW Chur (Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur, Schweiz), an der er sich vertieft mit den Gebieten der Satelliten-Kommunikation auseinandergesetzt hat. Zu diesen Themen hat er in namhaften Fachzeitschriften publiziert, außerdem verfasste er ein Fachbuch zum Thema „Telemetrie mit GSM/SMS und GPS-Einführung“.

jean-marie.zogg@htwchur.ch
www.zogg-jm.ch