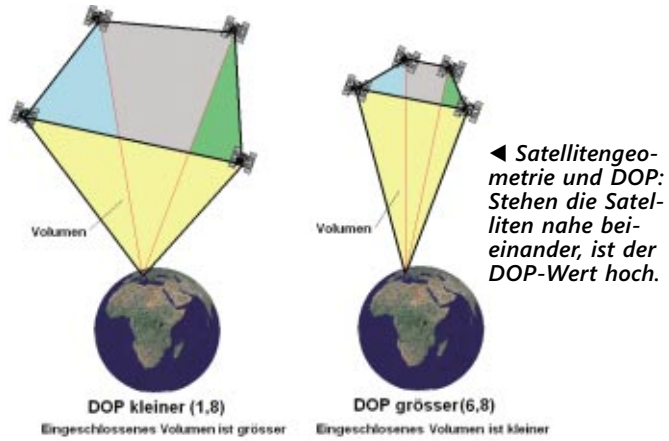


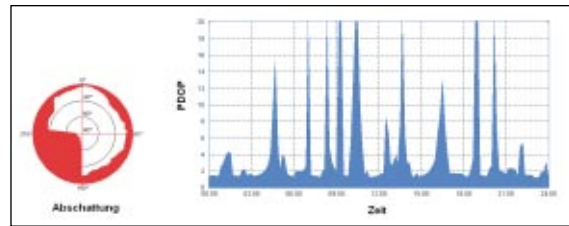
Dilution of Precision

Wie genau ist's denn nun?

Es gibt nur zwei Faktoren, die GPS ungenau machen: Der erste sind Störungen in der Ionosphäre, der zweite die ungünstige Verteilung der Satelliten am Himmel. Dieser Artikel erklärt den Einfluss, den die Stellung der Satelliten auf die GPS-Genauigkeit hat, den man mit dem sogenannten DOP-Wert ausdrückt. Wir zeigen, dass es sich dabei nicht um eine mythische Zahl, sondern um eine sinnvolle und praktische Hilfsgröße handelt.



◀ Satellitengeometrie und DOP: Stehen die Satelliten nahe beieinander, ist der DOP-Wert hoch.



◀ Der PDOP-Wert während 24 Stunden, mit realen Abschattungen

● DOP steht für »Dilution of Precision«, was gleichzusetzen ist mit Verdünnung oder Abschwächung der Genauigkeit. DOP ist somit ein Maß für eine Ungenauigkeit, die sich aus der Konstellation der Satelliten am Himmel ergibt. Je größer der DOP-Wert, zum Beispiel weil alle Satelliten nahe beieinander liegen, umso größer ist die zu erwartende Positionierungsungenauigkeit, die DOP. Warum das so ist und warum es verschiedene DOP-Werte gibt, sollen die folgenden Abschnitte erklären.

Mathematische Herleitung des DOP-Wertes

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS hängt von zwei Faktoren ab: Von der Genauigkeit der einzelnen Entfernungsmessungen (der Messung des Abstands zwischen Satellit und GPS-Empfänger) und von der geometrischen Konfiguration der benutzten Satelliten. Mit einfachsten Worten: Umso weiter auseinander die vier zur Messung verwendeten Satelliten stehen, desto genauer wird die Positionsbestimmung.

Die Genauigkeit der ermittelten Position hängt proportional vom DOP-Wert ab. Dies bedeutet, dass bei einer Verdoppelung des DOP-Wertes der Fehler der Positionsbestimmung auch um Faktor Zwei ansteigt.

Im oberen Bild sieht man die Auswirkungen der Satellitengeometrie: Umso größer das Volumen eines Tetraeders (mit den vier Satelliten und dem Anwender als fünf Ecken), desto kleiner ist der DOP-Wert, also die Ungenauigkeit. Je kleiner das Volumen ist, umso größer sind der DOP-Wert und damit die Ungenauigkeit. Sind genau vier Satelliten sichtbar, ergibt sich die beste geometrische Situation, wenn die vier Satelliten weit auseinander liegen. Optimal wäre es, wenn ein Satellit im Zenit (senkrecht über dem Benutzer) und die anderen drei im Azimut

um 120 Grad voneinander getrennt sind und so tief wie möglich über dem Horizont stehen. Leider kann man die Verteilung der Satelliten am Himmel nur bei wenigen Navigationssystemen sehen, und beeinflussen kann man sie ja sowieso nicht.

Die verschiedenen DOP-Werte

Die Satellitenkonstellation beeinträchtigt unterschiedlich die Genauigkeit in der Horizontalen, Vertikalen und Zeit. Für die Bestimmung der Genauigkeit im Raum und in der Zeit wurden verschiedene DOP-Werte eingeführt. Folgende Bezeichnungen sind in Gebrauch:

- **HDOP:** Horizontales-DOP, der Ungenauigkeitsfaktor der Positionsbestimmung in der Ebene, also in x- und y-Richtung zusammen. Dieser Wert bestimmt in erster Linie die Genauigkeit bei der Navigation.
- **VDOP:** Vertikales-DOP ist der Ungenauigkeitsfaktor der Positionsbestimmung für die Höhe Z
- **PDOP:** Positions-DOP, vereint die beiden Faktoren HDOP und VDOP
- **TDOP:** Time-DOP ist der Ungenauigkeitsfaktor der Zeitbestimmung t
- **GDOP:** Geometrisches-DOP, vereint den PDOP mit dem GDOP

Praktische Bedeutung des DOP-Wertes

Im offenen Gelände ist die Satellitenüberdeckung praktisch immer so günstig, dass die PDOP- und GDOP-Werte nur selten über 3,0 steigen. Im Gebirge, im Wald und in der Stadt spielt der DOP-Wert eine wichtige Rolle für die Genauigkeit, da es aufgrund der Abschattungen durch Naturgegebenheiten und Bauwerke häufig Phasen mit sehr ungünstiger geometrischer Konstellation gibt. Im Verlauf von wenigen Minuten können unterschiedliche DOP

Werte auftreten.

Das untere Bild zeigt den PDOP-Verlauf eines normalen GPS-Empfängers, wenn eine starke Abschattung vorhanden ist. Hier wird der maximale PDOP-Wert von 20 mehrmals überschritten! Das Gebiet von 180° bis 270° ist durch ein Hochhaus abgeschattet, und im Gebiet 270° bis 180° erkennt man im rot gefüllten Randbereich die Höhenlinien der Berge.

Bei dieser massiven Abschattung sind nur wenige Zeitfenster mit einem günstigen PDOP-Wert (kleiner als 2) möglich. Zeitfenster mit DOP-Werten über 6 sollten vermieden werden. Wir sehen, dass die Positionsbestimmung um 6 Uhr morgens etwa 15 mal genauer wäre als eine Positionsbestimmung eine Stunde später (was beweist: Morgenstund hat Gold im Mund). Wenn es darauf ankommt, sollten Messungen geplant werden. Für diesen Zweck existieren Planungsprogramme, wie etwa von Trimble, (www.trimble.com/planningsoftware.shtml) die frei verfügbar ist.

Auswirkungen auf die Praxis

Welche Auswirkungen hat eine gute oder schlechte DOP nun auf das Navigationsgerät? Es ist eine der grundlegenden Aufgaben des GPS-Empfängers, sich die vier Satelliten zu suchen, die aufgrund ihrer Lage am Himmel den geringsten Fehler »mitbringen«.

Empfängt der GPS-Chip gerade viele Satelliten, stellt das ja kein Problem dar. Kritisch wird es in Straßenschluchten: Einerseits sind nur wenige Satelliten empfangbar, andererseits stehen die empfangbaren sehr eng zusammen, so dass die DOP relativ groß wird. Man sollte diesen Fehler aber nicht überschätzen, denn zumindest in Europa dürfte es extrem selten passieren, dass aufgrund eines großen DOP-Wertes keine Fahrzeugnavigation mehr möglich war.

(Professor Jean-Marie Zogg)