

# Technik der Satellitennavigation

Timo Denk, TGI12

## Positionsbestimmung (Satellitentriangulation)

- Bestimmung der Empfängerposition durch Einweg-Entfernungsmessung zu mehreren Satelliten
- Signal des Satelliten enthält unter anderem die Position des Satelliten und die Zeit, zu der das Signal abgesendet wurde ( $t_{Sender}$ )
- Messung der Empfangszeit beim Empfänger ( $t_{Empfänger}$ )

$$\Delta t_{Signal} = (t_{Empfänger} + t_{Fehler}) - t_{Sender} \quad (1)$$

- Berechnung der Distanz mit  $v$  ungefähr gleich der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ( $c$ )

$$d = v \cdot \Delta t \quad (2)$$

- Einsetzen von Gl. (1) in (2), für  $d$  der Betrag des Vektors zwischen Satellit und Empfänger

$$\sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 + (z_n - z)^2} = c \cdot (t_{Empfänger_n} + t_{Fehler} - t_{Sender_n}) \quad (3)$$

- Gleichung (3) erlaubt Berechnung der Empfängerkoordinaten ( $x, y, z$ ) mit  $n$  Satelliten
- Bestimmung des Uhrenfehlers ( $t_{Fehler}$ ) durch Hinzuziehen eines weiteren Satelliten
- Relativistischer Effekt (Allgemeine und Spezielle Relativitätstheorie kombiniert): Pro Erdsekunde 445,2·10<sup>-12</sup> s Zeitgewinn im GPS-Orbit (Abstand von der Erdoberfläche ca. 20.000 km; Umlaufzeit 11 Stunden 58 Minuten)

## Geschwindigkeitsbestimmung

- Differenzieren der Empfängerposition (verhältnismäßig ungenau)

$$v = \frac{P(t_2) - P(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

- Trägerphasenauswertung (Doppler-Effekt)

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{\Delta f \cdot c}{f_T} = \frac{(f_E - f_T) \cdot c}{f_T} \quad (5)$$

## Signalgeschwindigkeit in der Atmosphäre

- Wesentliche Beeinflussung durch Ionosphäre und Troposphäre
- Für die Signalgeschwindigkeit in der Ionosphäre (ca. 80-1000 km über der Erdoberfläche) gilt:

$$v_{Gr} = c \cdot \left( 1 - \frac{40,3 \cdot N_e}{f^2} \right) \quad (6)$$

- $N_e$ : Elektronendichte (in der Ionosphäre sehr hoch, wegen der Ionisierung durch Sonnenstrahlung)
- Frequenzabhängigkeit der Gruppengeschwindigkeit wird zur Berechnung der Verzögerung genutzt
- Troposphäre (ca. 0-12 km): Signalgeschwindigkeit wetterabhängig (schwer zu berechnen)