

# 11. Navigationssysteme

## 1. Aufbau eines Navigationssystems

# 11.1 Aufbau eines Navigationssystems (I)

## Definition

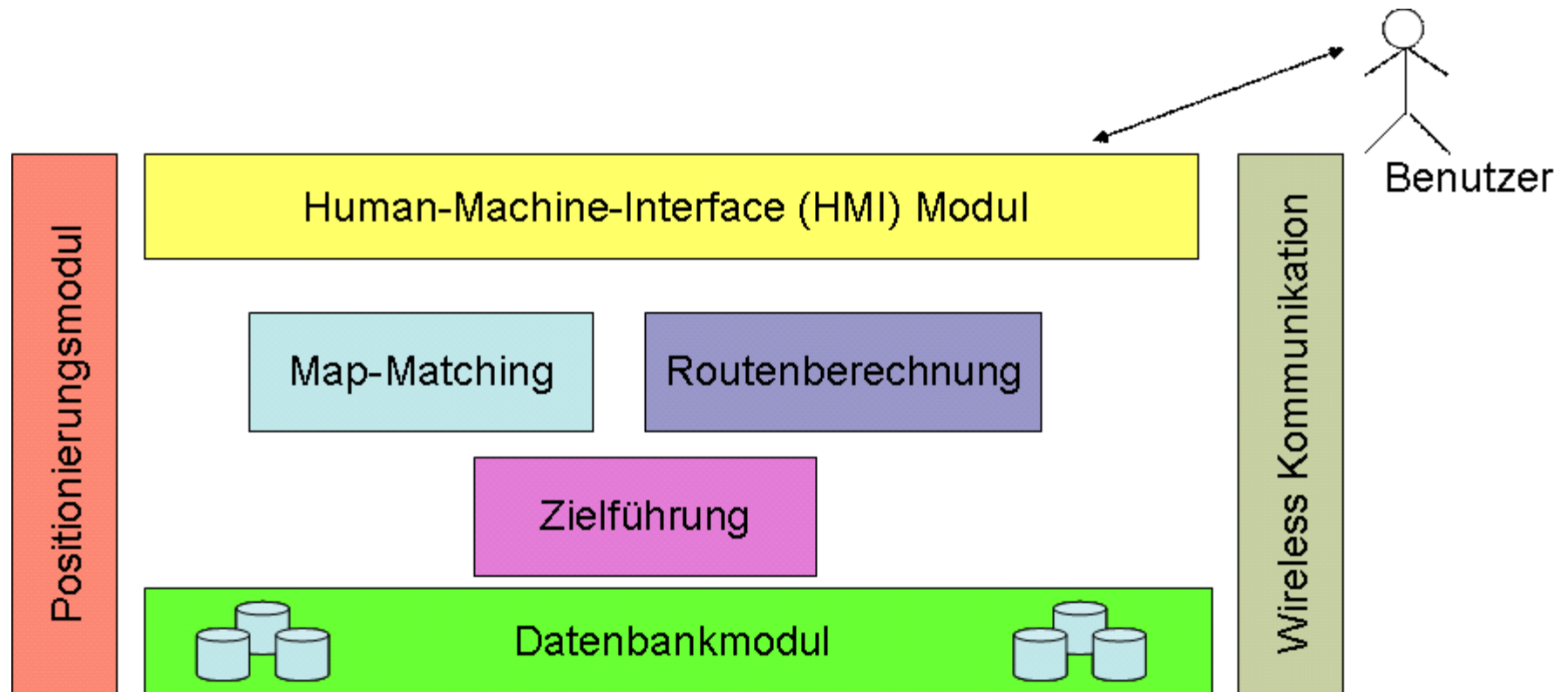
Ein Navigationssystem besteht aus Hard- und Software und ist unter Zuhilfenahme eines geographischen Ortungssystems und ggf. weiteren Sensoren bei der Erreichung eines gewünschten Ziels behilflich.

## Aufbau eines Navigationssystems

- Datenbankmodul mit digitaler Karte
- Human-Machine-Interface (HMI) Modul
- Zieleingabe
- Positionierung
- Map-Matching
- Routenberechnung
- Zielführung

# 11.1 Aufbau eines Navigationssystems (II)

## Module eines Navigationssystems



# 11.1 Datenbankmodul (I)

Eine Datenbank, die eine digitale Karte verwaltet, ist ein wichtiger Bestandteil eines Navigationssystems. Ohne Karteninformationen ist es für einen Reisenden nicht möglich, in einem unbekanntem Gebiet die richtige Route einzuschlagen.

Als Teil eines Navigationssystems hilft ein Datenbankmodul bei den folgenden Aufgaben:

- ❑ Anzeigen der Karte
- ❑ Lokalisierung einer Zielposition durch Angabe einer Adresse oder einer Kreuzung
- ❑ Berechnung der Reiseroute
- ❑ Führung des Reisenden entlang der vorberechneten Route
- ❑ Abgleich des aus Sensor-Informationen hergeleiteten Pfades mit dem bekannten Straßennetzwerk, um die tatsächliche Position genauer bestimmen zu können
- ❑ Ausgabe von zusätzlichen Reiseinformationen wie Sehenswürdigkeiten oder Restaurants

# 11.1 Datenbankmodul (II)

Den wesentlichen Teil der Datenbankinhalte stellt eine digitale Straßenkarte dar.

Der Zweck einer digitalen Karte ist, ein Netzwerk von Straßen und den dazugehörigen Attributen zu definieren. Die digitale Karten-Information wird üblicherweise von einem Kartenlieferanten in einem standardisierten Format (z.B. GDF) bereitgestellt.

Digitale Karteninformation, insbes. für das Straßennetzwerk, werden von Kartenlieferanten auf folgende Arten gewonnen:

- Manuelle oder semi-automatische Vektorisierung von Luftaufnahmen
- Abfahren der Straßen mit einem Fahrzeug, das mit einem Ortungssystem ausgerüstet ist

Zur Verwendung in einem Navigationssystem muß die Straßenkarte normalerweise in ein kompakteres Format umgewandelt und mit zusätzlichen Indexstrukturen versehen werden.

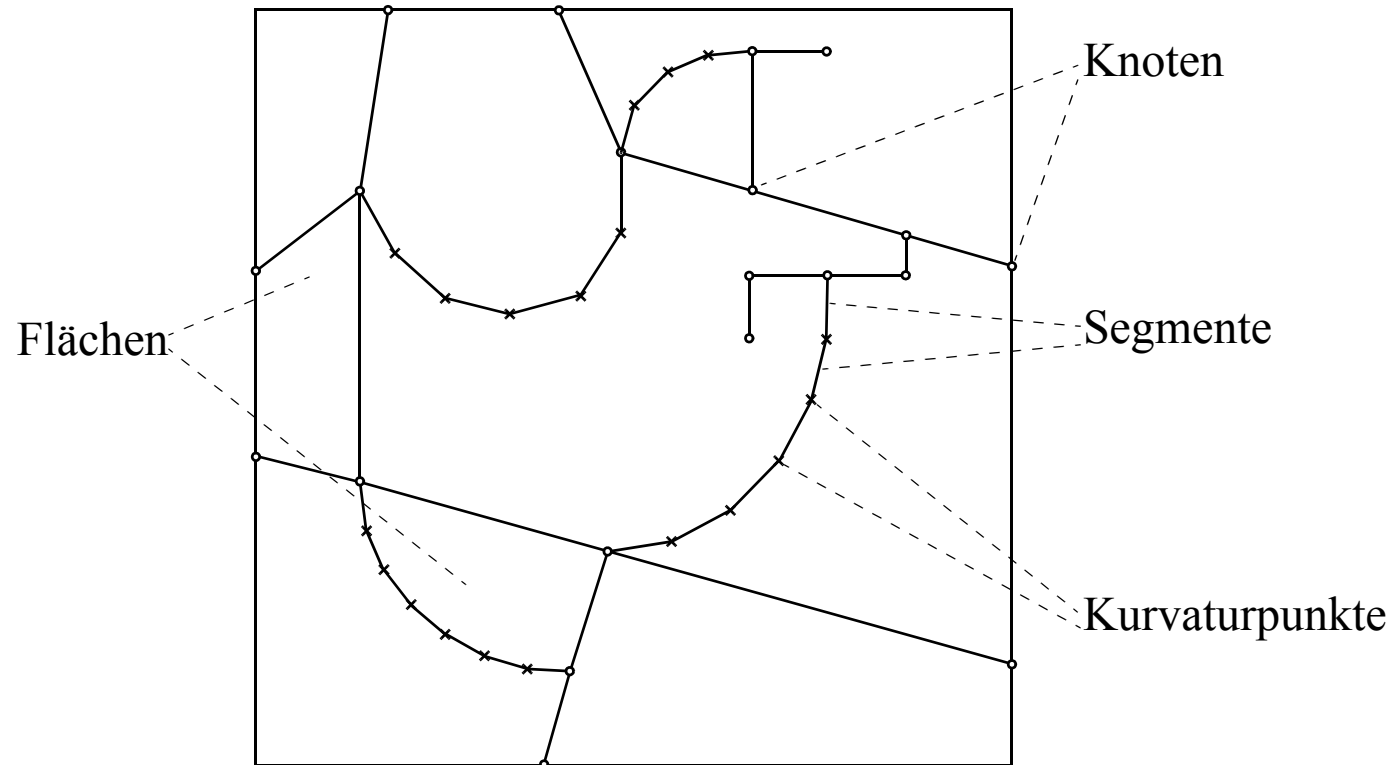
# 11.1 Aufbau einer digitalen Karte (I)

Eine digitale Straßenkarte besteht mindestens aus den folgenden Objekten:

- ❑ Ein *Knoten* repräsentiert Kreuzungen oder das Ende einer Straße, er wird gewöhnlich durch Längen- und Breitengrad spezifiziert
- ❑ Ein *Segment* ist ein Straßenstück zwischen zwei Knoten, d.h. modelliert topologische Information
- ❑ *Kurvaturpunkte* dienen zur Modellierung des genauen Verlaufs eines Segments, d.h. der exakten geometrischen Information
- ❑ *Flächen* werden durch Segmente abgegrenzt

# 11.1 Aufbau einer digitaler Karte (II)

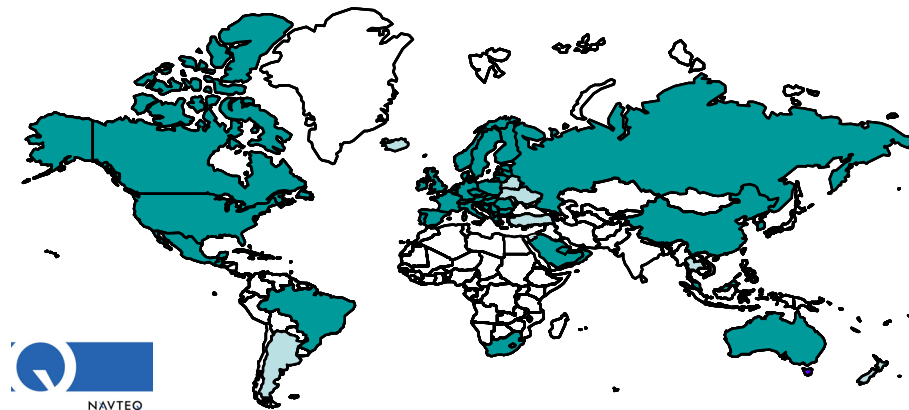
## Beispiel



⇒ typischerweise wird eine Straße durch eine Sequenz von Geraden abgebildet, die die tatsächliche Form der Straße möglichst gut annähern

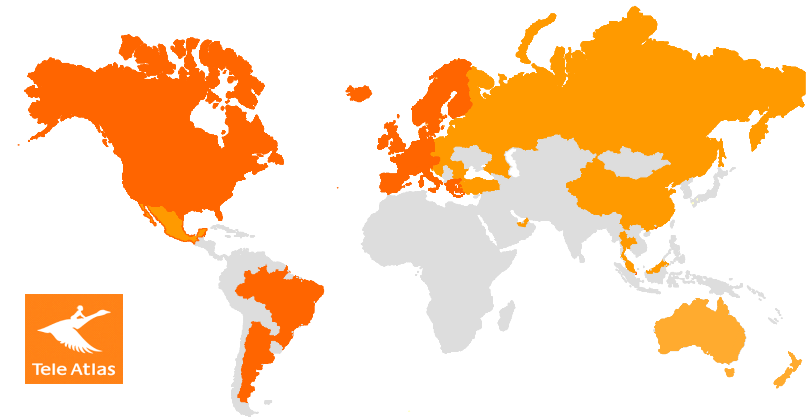
# 11.1 Aufbau einer digitaler Karte (III)

## Verfügbarkeit digitaler Karten



■ **Current Coverage (Q4/05)**

■ **Planned Coverage (Q4/06)**



**Key**

■ Coverage Available in Tele Atlas Products

■ Coverage in New Markets with varying levels of road coverage



# 11.1 Human-Machine-Interface (HMI)

Die HMI bietet einem Benutzer die Möglichkeit, mit dem Navigationssystem zu interagieren.



# 11.1 Zieleingabe (I)

Die Eingabe des Reiseziels kann in einem modernen Navigationssystem auf verschiedene Arten erfolgen:

- ❑ mittels Spracheingabe
- ❑ mittels Tastatur oder herstellerspezifischen Eingabegeräten
- ❑ mittels Karte
- ❑ mittels Points-of-Interest (POI) oder V-Cards
- ❑ mittels Positionen aus Verkehrsleitsystemen und Kartenlieferanten (z.B. Agora-C)

Da Navigationssysteme land- und sprachübergreifend eingesetzt werden, sollten sie mit den folgenden Eingabereihenfolgen für ein Ziel umgehen können:

- ❑ Land → Stadt → Straße
- ❑ Land → Stadt → Straße → Kreuzung
- ❑ Land → Straße → Stadt (sog. “street name first” Eingabereihenfolge)
- ❑ Land → Hausnummer → Straße → Stadt

# 11.1 Zieleingabe (II)

Um eine möglichst natürliche Zieleingabe zu unterstützen, sind folgende Erweiterungen üblich:

- ❑ Unterstützung von Namensrotationen ("Bad Abbach", "Abbach, Bad")
- ❑ Unterstützung von Exonymen und Synonymen (z.B. "München", "Munich" oder "Den Bosch", "s'Hertogenbosch")
- ❑ Unterstützung von weiteren offiziellen Bezeichnungen (z.B. "Bolzano", "Bozen")
- ❑ Berücksichtigung von Postleitzahlen und Telefonvorwahlen
- ❑ intelligente Spracherkenner (z.B. basierend auf Phonemen)
- ❑ spezielle Datenstrukturen zur Beschränkung der Eingabemöglichkeiten (z.B. Next-Valid-Character trees)

# 11.1 Positionierung

Das wesentliche Ziel der Positionierung ist eine möglichst exakte Bestimmung der aktuellen Position. Die ermittelte Position kann anschließend für die Routenberechnung oder die Zielführung verwendet werden.

In einem eingebetteten Navigationssystem wird die Positionierung üblicherweise mit Hilfe der folgenden Sensoren durchgeführt:

- ❑ GPS-Position
- ❑ Kompass
- ❑ Radsensoren (Geschwindigkeit, Kurvenradius)
- ❑ Gyroskop (Richtungsänderung)

Auch ohne GPS-Information kann die Positionierung mit Hilfe der sog. Koppelnavigation (Dead Reckoning) erfolgen. Die Koppelnavigation beruht auf der laufenden Ortsbestimmung eines bewegten Objekts durch Messen von Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Zeit. Normalerweise wird die Geschwindigkeit zwischen den Zeitintervallen als konstant angenommen.

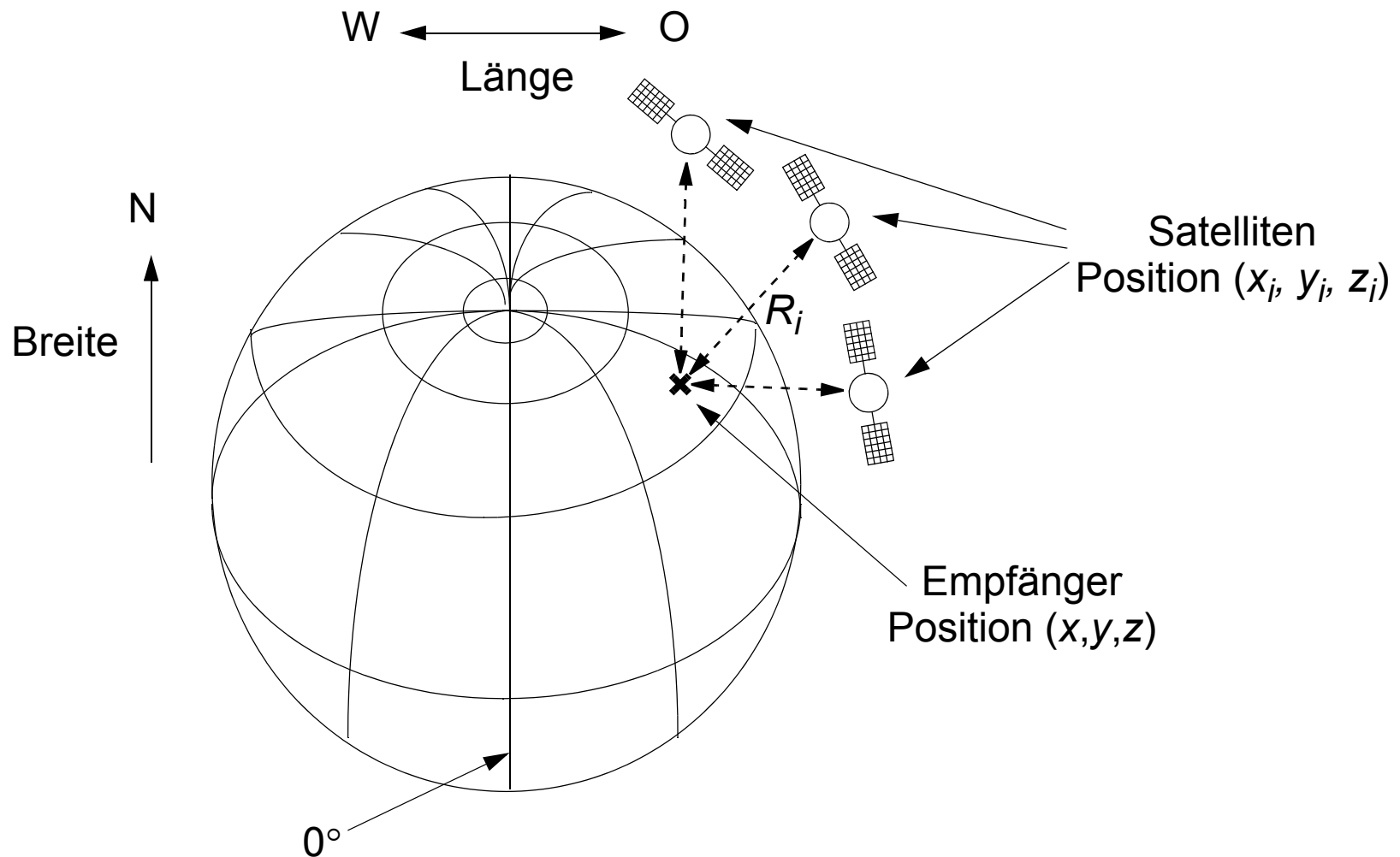
# 11.1 GPS-Positionsbestimmung (I)

Das Global Positioning System (GPS) ist ein vom amerikanischen Verteidigungsministerium betriebenes System, mit den folgenden Eigenschaften:

- ❑ es besteht aus mindestens 24 Satelliten, welche die Erde in einer Höhe von ca. 20200 km umkreisen
- ❑ da zur GPS-Positionsbestimmung Signallaufzeiten gemessen werden, ist eine Atomuhr ein wesentlicher Bestandteil eines GPS-Satelliten
- ❑ ein GPS-Satellit sendet ständig seine ID, seine aktuelle Position und die genaue Uhrzeit
- ❑ aus der Signallaufzeit können GPS-Empfänger die eigene Position und Geschwindigkeit berechnen
- ❑ sofern der GPS-Empfänger eine Atomuhr enthält, reichen zur Positionsbestimmung die Signale von drei Satelliten aus
- ❑ üblicherweise wird das Signal eines vierten Satelliten benötigt, da GPS-Empfänger meist über keine präzise Uhr verfügen, die eine genaue Messung der Signallaufzeiten ermöglicht
- ❑ die Satelliten geben ihre Ephemeriden (Bahndaten) an die anderen Satelliten und an die Empfänger weiter
- ❑ bis ein GPS-Empfänger alle Ephemeriden empfangen hat, dauert es eine Weile

# 11.1 GPS-Positionsbestimmung (II)

Prinzip der Positionsbestimmung mittels Messung von Signallaufzeiten



# 11.1 GPS-Positionsbestimmung (III)

## Prinzip der Positionsbestimmung mittels GPS

- zwei Kugeln (um 2 Satelliten) haben einen Kreis als Schnittmenge
- der Kreis schneidet die dritte Kugel in 2 Punkten
- einer der verbleibenden 2 Punkte liegt im Weltraum und kann von der Software im Empfänger ausgefiltert werden
- die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt ca. 300000 km/s, eine Messungenauigkeit von einer millionstel Sekunde führt deshalb bereits zu einem Fehler von ca. 300m
- stehen nur drei Satelliten zur Verfügung, muss der Empfänger mit einer sehr präzisen Uhr ausgestattet sein
- Satelliten sind mit präzisen Atomuhren ausgestattet, während kostengünstige Empfänger meist Quarzoszillatoren einsetzen, die eine gewisse Abweichung  $b$  haben. Aus den gemessenen Radien  $R_i$  um die Satelliten und den bekannten Satellitenpositionen  $(x_i, y_i, z_i)$  kann die Position  $(x, y, z)$  des GPS-Empfängers abgeleitet werden:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - b, \text{ für } i = 1, 2, \dots, N$$

stehen  $N \geq 4$  Satelliten zur Verfügung, kann die Positionsbestimmung auch ohne Atomuhr im GPS-Empfänger erfolgen.

# 11.1 GPS-Positionsbestimmung (IV)

Fehler in der Positionsbestimmung haben verschiedene Ursachen:

- ❑ absichtlich gestreute Fehler, es gibt zwei Codes: den PA (Precision Availability), der nur für das Militär zugänglich ist und sich nur einmal in der Woche wiederholt. Der SA (Selective Availability) code wiederholt sich alle paar Sekunden diesen können kommerzielle Empfänger benutzen. Dieser Code ist nicht so genau und der GPS-Betreiber behält sich jederzeit vor, diesen abzuschalten oder zusätzlich zu verfälschen.
- ❑ ungünstige Satellitenposition (senkrecht aufeinander stehende Schnittlinien ergeben genauere Schnittpunkte als nahezu parallel verlaufende)
- ❑ Laufzeitunterschiede durch Brechungen und Dichteinhomogenitäten in der Atmosphäre
- ❑ Reflexion des Signals an Bergen oder Häusern und dadurch erzeugte Laufzeitunterschiede
- ❑ Effekte der speziellen Relativitätstheorie (bewegte Uhren gehen langsamer, die Satellitenuhren sind deshalb entsprechend schneller getaktet)
- ❑ Effekte der allgemeinen Relativitätstheorie (Uhren in der Nähe großer Massen gehen langsamer, die Satellitenuhren entsprechend schneller). Die Satellitenuhren sind entsprechend langsamer getaktet. Dieser Effekt überwiegt den der speziellen Relativitätstheorie.
- ❑ die Genauigkeit der Ephemeriden (Bahndaten der Satelliten). Die GPS-Satelliten bestimmen ihre Position mit Hilfe von Bodenstationen und der anderen Satelliten.



# 11.1 Map-Matching

Bei dem sog. Map-Matching wird die ermittelte Position einem oder mehreren Straßensegmenten zugeordnet. Map-Matching wird durch die folgenden Fehlerquellen erschwert:

- ❑ Sensorfehler (z.B. falsche Messung der zurückgelegten Distanz beim Dead-Reckoning)
- ❑ fehlerhafte Digitalisierung des Kartenmaterials
- ❑ reale Straßenverläufe werden in digitalen Karten vereinfacht dargestellt
- ❑ nicht digitalisierte Bereiche (z.B. Parkplätze, neugebaute Straßen)
- ❑ Berechnungsfehler (überlicherweise werden bei der Sensorfusion komplexe Algorithmen und probabilistische Modellierungen eingesetzt)

# 11.1 Routenberechnung

Nach der Bestimmung der aktuellen Position und anschließendem Map-Matching erhält man ein oder mehrere Startsegmente, von denen aus die Route zu den Zielsegmenten berechnet wird. Die Zielsegmente stammen aus dem Zieleingabeschritt.

Um verschiedenen Benutzeransprüchen gerecht zu werden, stehen normalerweise die folgenden Routingkriterien zur Auswahl:

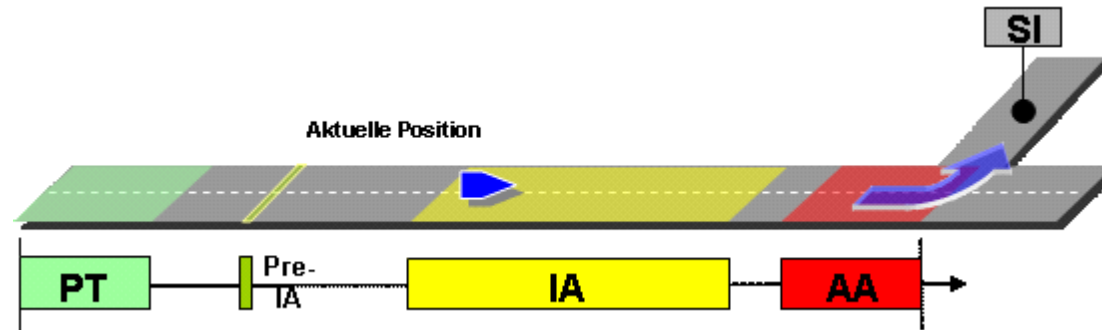
- ❑ schnellste Route
- ❑ kürzeste Route
- ❑ sparsame Route
- ❑ dynamische Navigation:
  - ❑ Berücksichtigung von Verkehrsinformationen
  - ❑ Routenberechnung im Hintergrund, um Alternativrouten zur Umfahrung von Verkehrsstörungen rechtzeitig anbieten zu können

Des Weiteren können die zuvor aufgeführten Routingkriterien üblicherweise mit den folgenden Optionen kombiniert werden:

- ❑ Autobahnen meiden
- ❑ mautpflichtige Straßen meiden
- ❑ Fähren meiden
- ❑ Tunnel meiden

# 11.1 Zielführung

Unter der Zielführung versteht man die Führung des Benutzers entlang der berechneten Route bis zum Ziel. Die Hinweise der Zielführung können dabei visuell und/oder akustisch erfolgen.



Man unterscheidet während der Zielführung die folgenden 4 Phasen:

- PT (Plain Text Announcement): der Benutzer wird angewiesen, auf der aktuellen Straße zu bleiben. Weitere Manöver erfolgen weit in der Zukunft, so daß keine Notwendigkeit besteht, den Benutzer derzeit darüber zu informieren.
- Pre-IA (Pre-Information Announcement): auf Hauptstraßen kann es nötig sein, den Benutzer frühzeitig auf das Verlassen der Straße zu hinweisen.
- IA (Information Announcement): dem Benutzer wird die Entfernung und die Art des kommenden Manövers mitgeteilt.
- AA (Activation Announcement): kurz vor dem eigentlichen Manöver wird der Benutzer über die Art der erforderlichen Aktionen informiert.