



**Konzept  
zum  
Aufbau von GPS-Korrekturdatensendern  
nach IALA-Standard  
für  
Navigationssysteme  
an der  
Wasserstraße Donau**

Aufgestellt:

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd  
Würzburg  
Aufgabenfeld M2  
(Mott, Steinhuber)

Stand: 04.07.2002

1 GRUNDLAGEN GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) ..... 2

2 GRUNDLAGEN DGPS ..... 3

3 SACHSTAND DEUTSCHLAND ..... 3

4 SACHSTAND EUROPA ..... 5

5 VORSCHLAG FÜR DIE DONAU ..... 6

Anlage 1: Vortrag Grundlagen Teil 2: Differential GPS (DGPS)

Anlage 2: Datenblatt 4000 MSK DGPS Referenzstation der Firma Trimble

Anlage 3: Standortanforderungen zur Errichtung einer Mittelwellen DGPS-Referenzstation nach IALA-Standard

Anlage 4: List of Radionavigation Services (IALA)

Anlage 5: IALA Guidelines on Remote Monitoring and Control of Aids to Navigation

## 1 Grundlagen GPS (Global Positioning System)



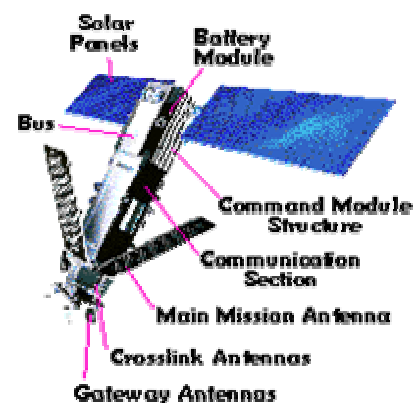
Mit Hilfe des US-amerikanischen Militärs wurde ein weltweit verfügbares Satellitennavigationssystem aufgebaut. **GPS (Global Positioning System)**. Das System, bestehend aus 27 Satelliten (9 Block II, 16 Block IIA, 2 Block IIR)

- Offizielle Konfiguration besteht aus 24 Satelliten (II/IIA)
- 21 Betriebssatelliten plus 3 Reservesatelliten
- 3 neue Block IIR Satelliten seit Ende 1998

in ca. 20.000 m Höhe, überträgt Daten im L- und S-Band zur Erde. Diese Daten sind verschlüsselt in den militärischen P-Code und den zivil nutzbaren C/A-Code. Das US Verteidigungsministerium kann in Krisenzeiten ortsabhängig die C/A-Daten kontinuierlich um +/- 100m verfälschen, so dass nur sehr ungenaue Positionsbestimmungen möglich sind. Dieses

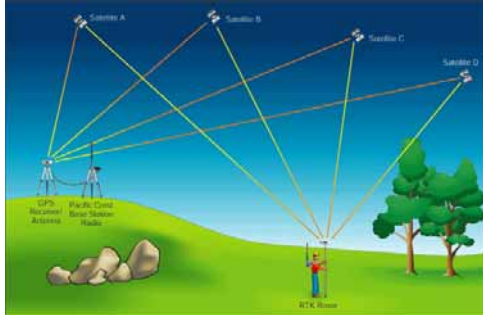
Programm nennt man **Selective Availability (SA)**. Bei aktivierter SA besteht also eine Genauigkeit von +/- 100m. Seit 2. Mai 2000 ist jedoch die Selective Availability abgeschaltet. Die Genauigkeit beträgt somit +/- 13m (95%).

Die Satelliten senden neben den eigenen Orbitaldaten die Umlaufdaten der anderen Satelliten sowie präzise Zeitsignale. Hieraus können die Satellitenpositionen berechnet werden. Moderne GPS-Empfänger arbeiten mit 12 parallelen Kanälen. Drei davon werden zur Standortbestimmung (Triangulation) benötigt. Ein vierter dient zur Berechnung der Höhenlage. Die restlichen acht Kanäle empfangen ebenfalls Satellitensignale und das GPS-Gerät verarbeitet diese mit den vier anderen Kanälen zu einer zuverlässigen und kontinuierlichen Messung.



## 2 Grundlagen DGPS

Für viele zivile Nutzer reicht die erzielbare Genauigkeit von 100 m jedoch nicht aus. Damit eine Genauigkeit von 3 m auch bei aktivierter SA erreicht werden kann, greift man zu einem Trick. Es wird ein weiterer GPS-Empfänger an einem koordinatenmäßig bekannten Ort installiert. Dieser Empfänger dient als Referenzstation. Die empfangenen Satellitensignale und die bekannten tatsächlichen Positionsdaten werden miteinander verglichen. Die Differenz wird an die mobile Station per Funk übertragen. Alle benachbarten GPS-Empfänger können anhand dieser Daten ihre Position korrigieren. Dieses Verfahren nennt man **DGPS (differential GPS)**.



Durch die Bestimmung der Trägerphase der einzelnen Satellitensignale lässt sich die Genauigkeit im Extremfall bis auf etwa 1 cm steigern. Es handelt sich dabei um **PDGPS (precision DGPS)**. PDGPS ist mit der Trägerphasenmessung und Einsatz von Koppelnavigation sogar zur Spurführung von Fahrzeugen geeignet.

Neben der Verbesserung der Genauigkeit gibt es beim Aufbau eines DGPS-Referenzsystems einen weiteren entscheidenden Vorteil. Die GPS-Satelliten sowie die

DGPS-Stationen werden rund um die Uhr auf ihre Funktion und Genauigkeit überwacht. Für den mit DGPS abgedeckten Bereich kann somit immer eine Aussage über die Qualität der elektronischen Navigation gegeben werden. Das Monitoring der DGPS-Stationen kann durch eine abgesetzte zentrale Stelle über Fernleitung erfolgen. Bei Auftreten von Fehlern bzw. maßgeblicher Verschlechterung der Positionsgenauigkeit werden die Nutzer sofort informiert. Weitere Angaben zu DGPS Grundlagen sind in der Anlage 1 enthalten.

## 3 Sachstand Deutschland

Aus Gründen der Kompatibilität zur Seeschifffahrt wurde in Deutschland die Entscheidung für DGPS nach IALA-Standard getroffen. Dies war und ist notwendig, da im Küstenbereich Seeschiffe Binnengewässer befahren. Eine doppelte Navigationsausstattung dieser Fahrzeug wird somit überflüssig.

Die IALA hat für den maritimen Bereich ein Systemkonzept entwickelt, das auf GPS in Verbindung mit einer terrestrischen Differential-Zusatzkomponente basiert. Nach den IALA-Spezifikationen wurden in Europa ca. 120 DGPS-Referenzstationen aufgebaut, wovon sich



zwei auf deutschem Gebiet befinden: Groß Mohrdorf, ursprünglich Wustrow versorgt die westliche Ostsee, Helgoland die Deutsche Bucht sowie die angrenzenden Seeschifffahrtsstraßen. Beide DGPS-Referenzstationen wurden im dritten Quartal des Jahres 1996 für die allgemeine Schifffahrt freigegeben.

Die Referenzstationen wurden von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eingerichtet und besitzen eine Reichweite von ca. 285 km. Das Datenblatt der eingesetzten Referenzstation ist in der Anlage 2 beigefügt. Mit den zwei Referenzstationen wird der gesamte deutsche Küstenbereich mit einem

DGPS-Funknavigationsdienst versorgt. Eine weitere Station wird 2002 am Standort Zeven (53N17, 09E15) errichtet. Weltweit werden nach gleichem Standard ca. 200 Referenzstationen aufgebaut.

Die großräumige geographische Bedeckung mit nur wenigen Referenzstationen führt zu einer hohen Wirtschaftlichkeit im Aufbau und in der Unterhaltung des DGPS-Dienstes. Die erzielbare Genauigkeit von ca. 1 – 5 m ist wichtige Voraussetzung für seine Mehrzweckfähigkeit. Möglichst viele Nutzergruppen sollen den DGPS-Dienst vorteilhaft anwenden können, wobei die wesentliche Zielrichtung im Bereich der maritimen Navigation und Seevermessung liegt. Der DGPS-Dienst dient der Sicherheit der Navigation und wird daher unverschlüsselt ausgesendet.

Die IALA hat Systemanforderungen für maritime DGPS-Dienste festgelegt, ein Systemkonzept für Referenzstationen entwickelt und eine Frequenzplanung vorgenommen. Als IALA-Standard bestehen damit Vorgaben für die Funkübertragung von DGPS-Korrekturdaten. Bestandteil des Standards ist die Datenformatierung nach einer Empfehlung der RTCM. Das „Special Committee No. 104“ hat unter der Bezeichnung RTCM 134-89 / SC 104-68 eine Formatierung für DGPS-Korrektursignale definiert. Die ITU hat für den IALA-Standard ergänzend ein Funkübertragungsprotokoll erarbeitet und dessen Nutzung empfohlen. Die Referenzstationen Groß Mohrdorf und Helgoland folgen den Vorgaben von IALA und ITU, wobei für die Datenübertragung aus dem Seefunkfeuerband die Frequenzen, 308 kHz (Groß Mohrdorf) und 298,5 kHz (Helgoland) sowie eine Übertragungsrate von 200 Bit/s gewählt wurden. Im Zuge der Abschaltung der SA am 02.05.2002 wurde die Bitrate auf 100 Bit/s reduziert.

Die Stationen verfügen über GPS-Empfänger, RTCM-Formatierung, Modulator, Mittelwellensender und Mittelwellenantenne mit Abstimmereinheit. Die DGPS-Korrekturwerte werden über die Mittelwellenantenne abgestrahlt. Aus Gründen der Ausfallsicherheit sind wesentliche Systemkomponenten wie GPS-Receiver und MW-Sender doppelt ausgelegt. Für Überwachungszwecke wird vor Ort ein weiterer GPS-Empfänger mit Mittelwellenempfänger und Prozessor zur Fehlererkennung und Integritätsanalyse betrieben. Für Zwecke des „Post Processing“ werden die Rohdaten aufgezeichnet (GPS-Frequenzen L1 und L2). Die Netzwerkanbindung der Anlage erlaubt eine Ferndiagnose und die Fernsteuerung der Referenzstationen, für die eine Verfügbarkeit von 99,9 % garantiert werden soll.

Zur Prüfung der Funktion und erreichbaren Genauigkeit des DGPS-Dienstes wurden verschiedene Messkampagnen durchgeführt, wobei unterschiedliche GPS-Empfänger eingesetzt wurden. Es zeigte sich, dass beim Einsatz hochwertiger GPS-Empfänger eine Positionsgenauigkeit von etwa 1m, bei Verwendung einfacher GPS-Empfänger, die ohne Phasenglättung arbeiten, eine Genauigkeit von etwa 5m erreicht wird.

Für die Nutzung dieses DGPS-Dienstes werden keine Gebühren erhoben.

In Deutschland ist die flächendeckende Ausstattung mit DGPS nach IALA-Standard bis Ende 2003 geplant. Der Aufbauort der Sender sowie weitere technische Angaben sind in der Anlage 3 enthalten.

## 4 Sachstand Europa

Die nachstehende Karte zeigt die Abdeckung des DGPS-Dienstes nach IALA-Standard in Europa.



Weitere Stationen vor allem im Mittelmeerraum sind in Planung bzw. im Bau. Mit dem Aufbau von DGPS-Sender nach IALA-Standard in Deutschland und später an der Donau bis zum Schwarzen Meer wird die Flächendeckung in Europa weiter verbessert.

## 5 Vorschlag für die Donau

Zur Abdeckung der Donau wird zunächst folgender Aufbau vorgeschlagen.



Zu beachten ist dabei, daß obiger Vorschlag eine Reichweite von 200 km und ideale Ausbreitungsbedingungen unterstellt. Erst eine genaue Berechnung der Ausbreitung, abgestimmt auf die dann zugewiesene Frequenz, ergeben die tatsächlichen Reichweiten der einzelnen Sender. Die drei südlichen Sender können auch südlich der Donau aufgestellt werden, d.h. der nationale Standort eines Senders kann noch gewählt werden.

Mögliche Standorte wären:

- Österreich zwischen Krems und Wien
- Ungarn Umgebung von Kalocsa (ca. 100 km Süd von Budapest)
- Jugoslawien Umgebung von Veliko Gradište (ca. 70 km West von Belgrad) oder Rumänien westliche Umgebung von Moldova Nouă
- Rumänien Umgebung von Caracal (ca. 180 km SWW von Bukarest)
- Rumänien Umgebung von Hârșova (ca. 190 km Ost von Bukarest)

Angaben zur Technik sowie den baulichen Maßnahmen können analog zum Aufbau der deutschen Sender der Anlage 3 entnommen werden. Ein Betriebskonzept muß für jeden Sender entsprechend den Regelungen der nationalen Wasser- und Schifffahrtsverwaltungen erstellt werden.