

# Europäische DGPS-Dienste

Wolfgang Augath, Dresden

## 1 Einleitung

Unter der Überschrift „DGPS“ sollen hier alle satellitengestützten Differentialdienste (also auch GLONASS und später GALILEO) behandelt werden, die einen zumindest kontinentalen Ansatz verfolgen. Während zur Zeit der künstlichen Systemverschlechterung viele Nutzeranforderungen im Bereich der Genauigkeit nur mit Differentialansätzen erfüllt werden konnten, rücken heute andere Bereiche in den Vordergrund. In Deutschland haben alle Nutzergruppen ihr Anforderungsprofil im Deutschen Funknavigationsplan (DFNP) zusammentragen lassen, dessen letzte Überarbeitung 1999 erschienen ist (<http://www.BMVBW.de/Verkehr>). In einigen anderen europäischen Staaten ist dieser Schritt ebenfalls vollzogen worden. Ein gesamteuropäischer Radionavigationsplan steht leider noch aus. Während die Nutzerwünsche weitgehend klar sind, kann derzeit keiner der vorhandenen DGPS-Dienste größere Nutzerzahlen vorweisen. Ziel dieses Beitrages ist es, Anforderungen an DGPS-Dienste zu formulieren und am Beispiel EGNOS und EUROFIX über Realisierungen zu berichten und diese zu bewerten.

## 2 Anforderungen an DGPS-Dienste

Bei der Gestaltung eines DGPS-Dienstes sind Leistungsparameter zu erfüllen und organisatorische Festsetzungen zu treffen.

### 2.1 Leistungsparameter und Definitionen

In der Navigation sind die in Tabelle 1 zusammengestellten Leistungsparameter zu fixieren, deren Auswahl aus der Beschreibung der Echtzeitfähigkeit resultiert und über die Beschreibung statischer Prozesse, wie sie z.B. in der Geodäsie meist vorliegen, weit hinausgehen. Die Definitionen sind dem DFNP entnommen worden, die darin verwirklichte Kürze geht zwar zulasten der Präzision, sie steigert jedoch die Verständlichkeit.

Genauigkeit:	Abweichung vom wahren Wert, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht überschritten wird (= $2\sigma$ )
Verfügbarkeit:	Wahrscheinlichkeit, ein System im funktionsfähigen Zustand vorzufinden (→ <b>Systemverfügbarkeit</b> ) aber auch: „ <b>lokale Verfügbarkeit</b> “ beachten (Abschattungen, Störungen)
Kontinuität:	Wahrscheinlichkeit, dass ein System an einem Ort während einer vorgesehenen Nutzungsdauer nicht ausfällt.
Integrität (hier als integrity risk):	Wahrscheinlichkeit, dass eine Überschreitung des maximal zulässigen Fehlers <b>nicht</b> bemerkt wird.
Time to Alarm:	Zeitdauer zwischen dem Auftreten einer Grenzwertüberschreitung und der Bekanntgabe an den Nutzer

Tab. 1: Definitionen der Leistungsparameter in der Navigation nach (DNFP 1999)

Das der **Genauigkeitsdefinition** zugrunde liegende Wahrscheinlichkeitsniveau von 95 % entspricht der zweifachen Standardabweichung. Da verwandte Disziplinen gelegentlich eine andere Definitionspraxis verwenden, wird empfohlen, zu jeder Genauigkeitsangabe das dabei unterstellte Wahrscheinlichkeitsniveau mit anzugeben. Die übliche **Verfügbarkeitsdefinition** beschreibt primär die Systemverfügbarkeit. Sie kann bei DGPS-Diensten aber nicht besser sein, als die Verfügbarkeit der verwendeten GPS-Informationen selbst, wie z.B. vom Amt für Militärisches Geowesen ermittelt worden sind.

Tab. 2 gibt die entsprechenden Werte für 1998 wieder, sie haben sich prinzipiell nicht geändert. Aus der

		<b>GPS Verfügbarkeit 1998</b>											
		<u>Summe aller Satellitenausfallzeiten</u>											
		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
[Std]		75,8	62,3	171,7	60,2	398,4	35,9	81,0	7,0	219,7	207,3	11,5	89,1
[%]		0,4	0,3	0,8	0,3	2,0	0,2	0,4	0,0	1,1	1,0	0,1	0,4
		<u>Verfügbarkeit des Gesamtsystems*</u>											
Ausfallzeiten [Std]		2,3	1,2	6,8	2,5	8,5	2,7	3,3	0,8	5,3	6,2	0,5	7,8
Verfügbarkeit [%]		99,69	99,82	99,08	99,65	98,86	99,62	99,55	99,87	99,26	99,17	99,93	98,95
		* Kriterium: Zeiten mit weltweit mindestens 4 sichtbaren Satelliten bei einer Elevationsgrenze von 15°											

Tab. 2: Verfügbarkeit des GPS-Systems aus Augath und Müller (1999)

Sicht des Nutzers gibt es eine ganze Reihe von Teilaspekten wie

- GPS-Verfügbarkeit
- DGPS-Dienste-Verfügbarkeit
- „lokale“ Verfügbarkeit mit den Einschränkungen durch Abschattungen und eventuelle Signalstörungen durch Interferenzen,

die die von ihm benötigten Angaben der Gesamtverfügbarkeit beeinflussen. Auch hier sollte bei jeder Verfügbarkeitsangabe genannt werden, welcher Teilaspekt gemeint ist. Insbesondere über die wichtige lokale Verfügbarkeit liegen leider zu wenige systematisch ermittelte Angaben vor, die jedoch bei einer operationellen Nutzung eines DGPS-Dienstes als Teilkomponente eines Gesamtsystems unverzichtbar sind.

Der Begriff der **Integrität** eines Systems weist deutliche Analogien zur Zuverlässigkeitstheorie in statischen geodätischen Netzen auf. Zusammen mit der „Zeit bis zu einem Alarm“ entsteht daraus die Möglichkeit zur Beschreibung der Echtzeitfähigkeit bei der Aufdeckung und Bekanntgabe von Fehlfunktionen in Form von Warnungen.

## 2.2 Organisationsparameter von DGPS-Diensten

Ein Betreiber von GPS-Diensten kann nur erfolgreich operieren, wenn er die Segmente

- Betrieb des Dienstes
- Überwachung der Leistungsgrößen (Monitoring)  
und
- Endgeräte

nach den Erfordernissen der Nutzer zu gestalten versteht.

Im Bereich des **Betriebes des Dienstes** sind Festsetzungen in den Bereichen

- Leistungsparameter (für welche Nutzergruppen?)
- Versorgungsgebiet (lokal, national, Spezialanwender, großräumig?)
- Garantie über die Laufzeit
- Datenformat (Firmenspezifisch, international)
- Datenrate (Datenumfang, Verfall der Gültigkeit)
- Kommunikationsweg

zu treffen.

Ein **Monitoringkonzept** zur Überwachung der Leistungsparameter ist unverzichtbar, variabel in Abhängigkeit der betreuten Nutzergruppen ist lediglich der Umfang und die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Infrastruktur. Letztlich besteht eine starke Abhängigkeit des Erfolges eines Dienstes von den **Endgeräten** in den Bereichen **Verfügbarkeit, Preisniveau und Zuverlässigkeit**.

Es liegt auf der Hand, dass nur die Dienste auf Dauer wirtschaftlichen Erfolg haben werden, die alle drei Bereiche erfolgreich abdecken.

### 3 Europäische DGPS-Dienste

Aus der Vielfalt der in Europa vorhandenen Dienste sollen exemplarisch EGNOS und EUROFIX näher beschrieben und anhand der unter 2. aufgestellten Kriterien bewertet werden.

#### 3.1 European Geostationary Navigation Overlay Service

Der European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) stellt eine von der ESA betreute europäische Realisierung eines GNSS-1-Angebotes dar. Für die Fläche der USA ist ein ähnliches System unter dem Namen „Wide Area Augmentation System (WAAS)“, im Aufbau, das die bestehenden Stationen der US-Coast Guard, die nach dem IALA-Standard eingerichtet wurden, flächenhaft verdichtet. Die in Abb.1 dargestellten Segmente werden bei EGNOS wie folgt ausgestaltet:

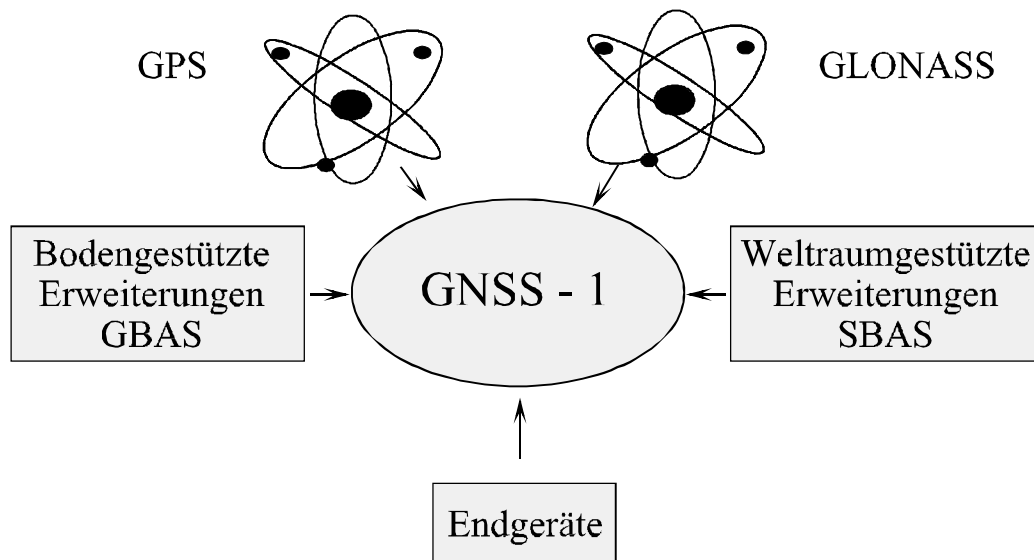


Abb. 1: Komponenten eines globalen Navigationssatellitensystems der Stufe 1 (GNSS-1)

Als **weltraumgestützte Positionierungssysteme** werden GPS und GLONASS genutzt (in den USA: nur GPS). Die weltraumgestützte Erweiterung (SBAS) besteht im Endausbau aus drei geostationären Satelliten in 36.000 km Höhe über dem Äquator (z.Zt. erst zwei verfügbar), zwei der Fa. Inmarsat, ein dritter als „Payload“ eines Artemis-Kommunikationssatelliten der ESA. Diese zusätzlichen Leistungen sind in Abb. 2. zusammenfassend dargestellt worden.

Die geostationären Satelliten übernehmen einmal Kommunikationsaufgaben für die Übertragung von Differentialkorrekturen und Integritätsinformationen in der Ausgestaltung „Nutzung des Systems möglich Ja/Nein,“. Als Erweiterung der GPS/GLONASS-Beobachtungen werden von den eigenen geostationären Satelliten GPS-ähnliche Signale (Pseudostrecken) übertragen. In Abb.3 ist die derzeitige Struktur und der Status der bodengestützten Erweiterung (GBAS) zusammengestellt worden.

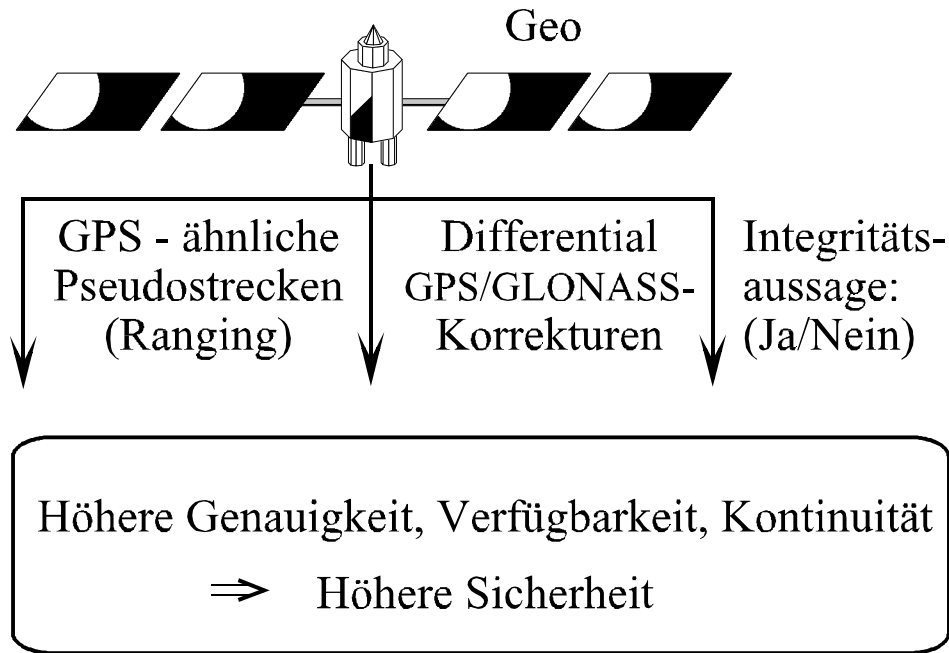
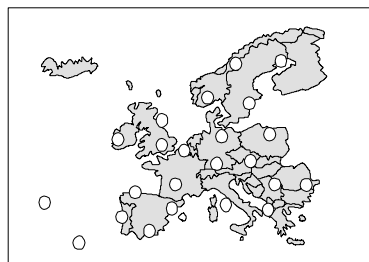


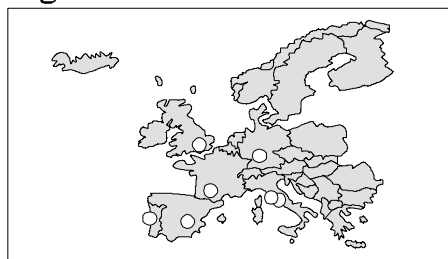
Abbildung 2: Bestandteile und Leistungen des EGNOS-Weltraumsegmentes (SBAS)



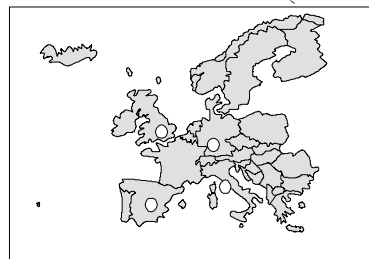
Trackingstationen der geostationären Satelliten



Regional verteilte Monitorstationen (RIMS)



Kommunikationszentralen (NLES)



Masterkontrollzentren (MCC)

Abbildung 3: Bestandteile des EGNOS-Bodensegmentes (GBAS)

Mit einem großräumigen Netz von derzeit fünf Trackingstationen werden die Positionen der geostationären Satelliten bestimmt und 25 GPS/GLONASS-Monitorstationen dienen nicht nur der GPS/GLONASS-Signalüberwachung, hier werden auch regionale Differentialkorrekturen bestimmt und besondere Sachverhalte ermittelt, so z.B. über den Zustand der Ionosphäre. Eine leistungsstarke Datenübertragung sorgt für die Übertragung in Masterkontrollzentren (MCC), die die Auswertung übernehmen und die in Abb.2 dargestellten Informationen erzeugen, die dann an die geostationären Satelliten und von dort an die Nutzer weitergeleitet werden. Hervorzuheben ist dabei die Integritätsaussage „Benutzung „Ja/Nein“, die innerhalb von 6 s (time to alarm) eventuelle Fehlfunktionen mitteilt. Damit werden z.B. in der Luftfahrt die Anforderungen für Landeanflüge der Kategorie I (CAT I) erfüllt. Die ESA hat für diese Aufgaben ein eigenes Netzwerk aufgebaut, eine Kooperation mit EUREF-Permanent oder gar mit SAPOS findet nicht statt.

Die für die Nutzung des EGNOS-Angebotes unverzichtbaren Endgeräte für den Nutzer werden von der europäischen Industrie sehr zögerlich entwickelt, ein Umstand der nicht weiter verwundert, da die derzeitige EGNOS-Vorstufe (EGNOS System Test Bed [ESTB]) erst seit Anfang 2000 in Betrieb gegangen ist und der Endausbau erst für 2003 versprochen wurde.

Der DGPS-Dienst EGNOS ist im Bereich der Metergenauigkeit angesiedelt (horizontal: besser als 3 m, Höhe: besser als 5 m (jeweils in 95 %)). Die zusätzlichen Pseudostrecken zu den geostationären Satelliten stellen eine Erweiterung dar, die allerdings nur bei der Luftfahrt und evtl. noch bei Schifffahrtsanwendungen Verbesserungen erwarten lässt, da im Landverkehr und im Vermessungswesen die zusätzlichen Pseudostrecken wegen der geringen Elevation (hervorgerufen durch die Position der geostationären Satelliten) oft der Abschattung durch Gebäude und Topographie zum Opfer fallen. Die weiteren Leistungsparameter weisen durch die aufwendige Infrastruktur einen hohen Standard auf (z.B. Time to Alarm < 6 s), der allerdings durch einen hohen finanziellen Systemaufwand (30 Mill. Euro/ Jahr) erreicht wird. Im Rahmen des Monitoring mit Bodenstationen werden jedoch viele lokale Parameter mit erfasst, die zu einer gezielten weiteren Genauigkeitssteigerung der DGPS-Informationen genutzt werden könnten.

Vorteile sind in der großen Einsatzfläche und in der konsequenten Umsetzung internationaler Standards (GPS-ähnlicher Code, RTCM-Format) zu sehen, da dadurch größere Anwendergruppen mit identischen Geräten bedient werden können als z.B. bei nationalen Positionierungssystemen. Bei einer Integration mit LORAN-C-Systemen wären sogar im Bereich der Verfügbarkeit uneinholbare Parameter zu erreichen.

### 3.2 LORAN-C und EUROFIX

Mit LORAN-C wird ein vorhandenes bodengestütztes Streckenmesssystem im Langwellenbereich ( $\lambda = 3000 \text{ m}$ ) wieder belebt. Die Langwelle ist in ihrem Ausbreitungsverhalten sicherlich nicht einfach zu beschreiben (Wellenweg, Brechungsindex), wenn Genauigkeiten im Meterbereich erzielt werden sollen. Dafür weist sie gegenüber anderen Lösungen den Vorteil eines robusteren Signals und der Unabhängigkeit von Abschattungen auf, sie ist auch in Gebäuden zu empfangen. Dadurch stellt sie für GPS eine ideale Ergänzung mit komplementären Eigenschaften dar. Die Genauigkeitsanforderung von DGPS im Meterbereich ist grundsätzlich erreichbar, die Modellierung der Wellenausbreitung kann durch Differentialansätze verbessert werden (siehe z.B. Augath u.a., 2000).

Zusätzlich zu diesen Möglichkeiten hat die TU Delft ein Modulationsverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe über das LORAN-Signal ca. 30 bit/s übertragen werden können. Der EUROFIX-Dienst nutzt dies zum Aufbau eines DGPS-Dienstes, dessen Prinzip in Abb. 4 wiedergegeben worden ist. (Forst (1998) hat die Leistungsparameter zusammengestellt, die hier in der Tab. 3 wiedergegeben worden sind.



Abb.4: Prinzip des EUROFIX-Dienstes



• Dienste:	D GPS, opt. D GLONASS
• Genauigkeit:	< 5 m (95 %)
• Verfügbarkeit:	> 99,8 %, tlw. > 99, 9996 %
• Time to Alarm:	< 10 s
• Datenrate:	30 bit/ s
• Datenformat:	RTCM
• Modulation:	zeitliche Modulation
• Gebiet:	z.Zt. Nordwesteuropa

Tab.3: Eurofix-Leistungsparameter nach Forst (1998)

Bei einer Bewertung dieses Dienstes ist zu bemerken, dass das Potential für einen europäischen oder gar weltweiten Einsatz mit im Vergleich zu EGNOS geringen Unterhaltskosten vorliegt. Da der LORAN-C-Nutzer mindestens drei Sender empfangen muss, erhält er auch deren DGPS-Korrektursignale über den EUROFIX-Dienst mitgeliefert. Im Gegensatz zu dem zentralisierten EGNOS-Konzept, liegen hier alle Daten dem Nutzer vor, der sie, - falls gewünscht -, zu Genauigkeits- oder Verfügbarkeitserhöhungen verwenden kann. Am interessantesten verbleiben jedoch die zu GPS komplementären Langwelleneigenschaften, die durch eine geschickte Sensor- und Modellintegration mit GPS/ DGPS ein leistungsstarkes Gesamtsystem ermöglichen.

## 4 Ausblick

In unserer Informationsgesellschaft wird das Potential von Mehrwertdiensten mit georeferenzierten Daten zweifellos weiterwachsen. Das bedeutet, dass verschiedenartige Angebote von Positionierungsdiensten hierbei ihren Platz finden können. Die Dienstebetreiber sollten jedoch darauf achten, dass **alle** Komponenten eines Dienstes gleichrangig zu realisieren sind. Europäisch oder gar weltweit ausgelegte Systeme versprechen hierbei große Vorteile im Bereich der Endgeräte. Hier werden die national angelegten Dienste auf Dauer wohl nur überleben, wenn sie ihr Versorgungsgebiet entsprechend ausweiten.

## 5 Literatur

- Augath, W., Müller, A. (1999): Internationale Aspekte der Satellitennavigation und deren Auswirkung auf SAPOS. 2. SAPOS-Symposium Berlin.
- DFNP (1999): Deutscher Funknavigationsplan 1998, Bonn/Berlin.
- Augath, W., Lechner, W., Peters, R. (2000): Combination of DGPS and LORAN-C for Users on the 1-3 m-Level. DGON-Symposium 2000, Bonn.
- Forst, Ch. (1998): EUROFIX – Ein auf LORAN-C basierender europaweiter D-GNSS Dienst. DGON-Seminar, 1998, Dresden.

Anschrift des Autors:

Univ.-Prof. Dr. -Ing. W. Augath

Technische Universität Dresden

Geodätisches Institut

Mommsenstr. 13

01062 Dresden

E-mail: [wolfgang.augath@mailbox.tu-dresden.de](mailto:wolfgang.augath@mailbox.tu-dresden.de)