

# **Europäische Entwicklungen und ihr Bezug zu Radionavigationsplänen**

Wolfgang Augath, Dresden

## **1 Einleitung**

Satellitengestützte Positionierungssysteme, die über eher wissenschaftliche Zielstellungen hinausgingen und auch Anforderungen des Massenmarktes im Positionierungsbereich abdeckten, sind in Westeuropa bislang über Studien nicht hinausgekommen. Das lag sicherlich daran, dass mit dem amerikanischen Global Positioning System (GPS) und eingeschränkt auch mit dem russischen Global Navigation Satellite System (GLONASS) zwei zwar militärisch geführte und finanzierte Systeme zur Verfügung standen, die aber zumindest im geodätischen Bereich von ihrem Potential her kaum Wünsche offen ließen. Sprachlich und inhaltlich hat inzwischen ein Übergang von globalen Positionierungssystemen (GPS) zu globalen Navigations-Satelliten-Systemen (GNSS) stattgefunden. Damit soll deutlich gemacht werden, dass es in der Navigation nicht nur auf die Positionierung ankommt, ohne die bekanntlich keine Navigation möglich wäre. Es müssen vielmehr noch weitere Kriterien eingehalten werden, die institutionelle Fragen wie Systemkontrolle, Garantien über Betriebsdauer und –umfang, als auch technische Anforderungen wie Grad der Verfügbarkeit, Integrität, Warnung von Fehlfunktionen usw. umfassen, wie sie z.B. aus der Luftfahrt bekannt sind.

Die Europäische Gemeinschaft will hierbei eine europäische GNSS-Realisierung mit den beiden Schritten GNSS-1 und GNSS-2 vollziehen, die unter ziviler Führung stehen. Nutzerwünsche können aus nationalen Radionavigationsplänen entnommen werden, auch der Entwurf eines europäischen Radionavigationsplanes liegt vor (Neufassung auf Initiative der europäischen Industrie in Vorbereitung). Ziel des Beitrages ist es, die europäischen Projekte GNSS-1 (EGNOS) und GNSS-2 (GALILEO) zu beschreiben und dabei die Wünsche des Vermessungswesens aufzuzeigen.

## **2 Globale Navigations-Satellitensysteme, Stufe 1 (GNSS-1)**

Für die Beschreibung der Einsatzfähigkeit eines Positionierungssystems für Zwecke der Navigation werden neben Angaben über die erreichbare Genauigkeit noch Angaben über die Verfügbarkeit (availability), die Kontinuität in der

Verfügbarkeit (continuity of function), die Integrität (integrity) und die Zeitspanne bis zu einem Alarm (time to alarm) bei der Überschreitung von Grenzwerten benötigt. Hierzu liegen statistische Definitionen vor (vergl. Bauer, 1997): So wird die **Genauigkeit** eines Positionierungssystems mit dem Betrag angegeben, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% eingehalten werden kann. Die **Verfügbarkeit** beschreibt wie oft ein Positionierungssystem an einem bestimmten Ort und in einer bestimmten Zeitspanne zur Verfügung steht. Hierbei spielt die generelle Betriebsbereitschaft eine Rolle, aber auch die Satellitenkonfiguration zur Lösung der Positionierungsaufgaben, Abschattungen und Signalstörungen. Die **Kontinuität** wird durch die Wahrscheinlichkeit beschrieben, mit der ein funktionierendes System für ein bestimmtes Navigationsmanöver (z.B. Landeanflug) auch durchgehend zur Verfügung steht. Die **Integrität** eines Navigationssystems beschreibt die Wahrscheinlichkeit von nicht erkannten Fehlfunktionen und die **Warnungsdauer** die Fähigkeit des Gesamtsystems, den Nutzer von erkannten Fehlfunktionen in einem garantierten Zeitraum zu informieren.

Analogien zur geodätischen Definition der Zuverlässigkeit sind hierbei unverkennbar, die anderen Parameter stellen Erweiterungen dar, die für die notwendige Echtzeitfähigkeit erforderlich sind. Kombinationen von unterschiedlichen Positionierungssystemen weisen immer bessere Parameter als die Einzelsysteme auf, es muss aber immer eine Systemüberwachung (Monitoring) durchgeführt werden.

## 2.1 Was beinhaltet GNSS-1?

Wie in Abb. 1 dargestellt, geht man bei der Definition von GNSS-1 von globalen weltraumgestützten Positionierungssystemen wie GPS und GLONASS oder später auch von GALILEO aus.

Hierzu sind weltraumgestützte Erweiterungen hinzuzufügen (space based augmentation system [SBAS]), die aus weiteren Satelliten mit Positionierungsfunktionen (z.B. Ranging) oder Kommunikationsaufgaben bestehen. Die bodengestützten Erweiterungen (ground based augmentation system [GBAS]) enthalten die Monitorstationen und die dazugehörigen Kommunikations- und Auswertefunktionen. Es könnte aber auch ein bodengestütztes Ortungssystem wie LORAN-C aufgebaut und integriert werden. Nicht vergessen wird in diesem Konzept auch die Verfügbarkeit von Endgeräten.

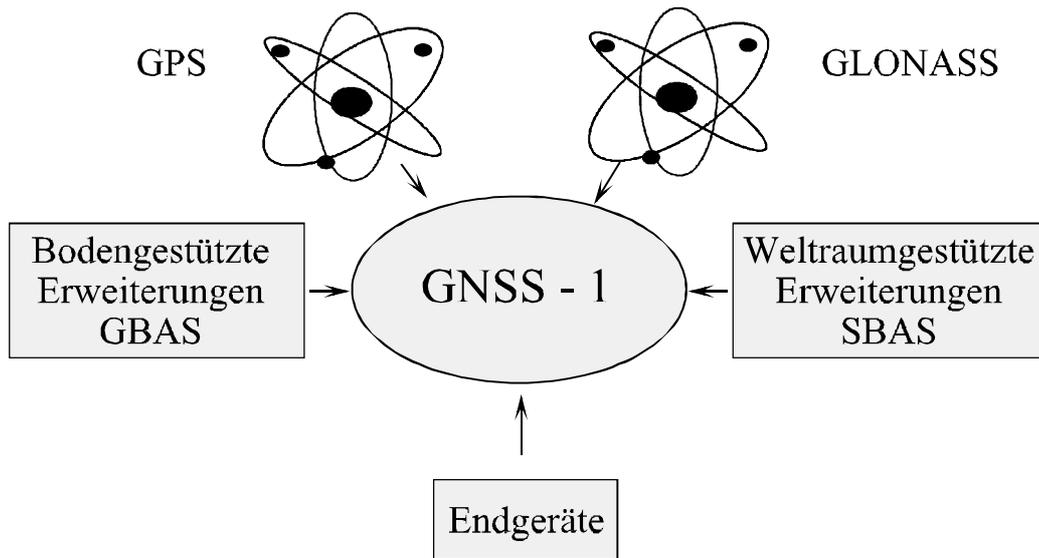


Abb.1:Komponenten eines globalen Navigationssatellitensystems der Stufe 1 (GNSS-1)

## 2.2 EGNOS als GNSS-1-Realisierung in Europa

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 aufgebaut wurden, flächenhaft verdichtet. Die in Abb.1 dargestellten Segmente werden bei EGNOS wie folgt ausgestaltet:

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. Die 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.

Mit einem großräumigen Netz von derzeit fünf Trackingstationen werden die Positionen der geostationären Satelliten bestimmt und derzeit 25 regionale 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 6s (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 SAPOS findet nicht statt. In der Diskussion ist derzeit eine Erweiterung der Positionierungskomponenten GPS/GLONASS um das bodengestützte und inzwischen modernisierte LORAN-C-System, das im Bereich der Robustheit der Signale gegenüber Störungen und bei Abschattungen interessante komplementäre Eigenschaften zu GPS/ GLONASS besitzt.

Die für die Nutzung des EGNOS-Angebotes unverzichtbaren Endgeräte für den Nutzer werden von der 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 für 2003 versprochen wurde.

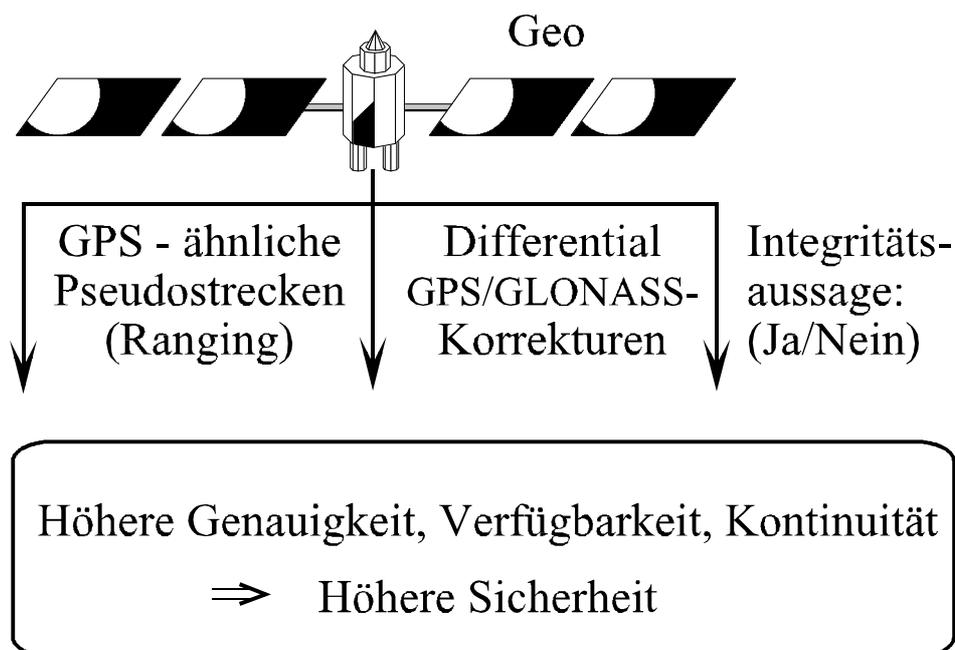
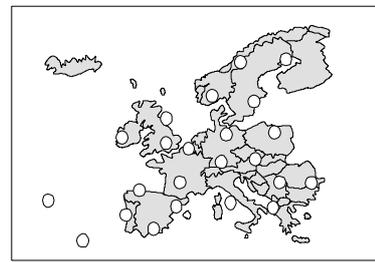


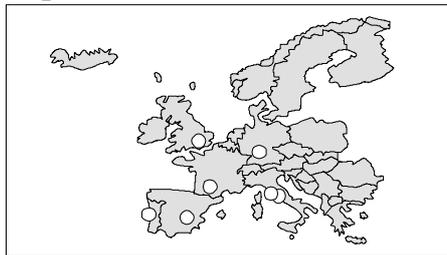
Abb.2: EGNOS - Leistungen



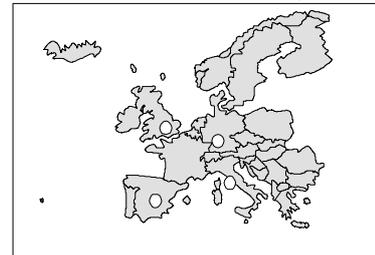
Trackingstationen der  
geostationären Satelliten



Regional verteilte  
Monitorstationen (RIMS)



Kommunikationszentralen  
(NLES)



Masterkontrollzentren  
(MCC)

Abb.3: Bodengestützte Infrastruktur von EGNOS

### 2.3 EGNOS-Bewertung, insbesondere aus der Sicht des Vermessungswesens

Das gesamte System ist im Bereich der Metergenauigkeit angesiedelt (horizontal: besser als 3 m, Höhe: besser als 5 m jeweils in 95 %) und steht so in direkter Konkurrenz zu den Positionierungsdiensten des Vermessungswesens (z.B. SAPOS, EPS-Dienste). Die zusätzlichen Pseudostrecken zu den geostationären Satelliten stellen sogar eine Erweiterung dar, die allerdings nur in 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. Vorteile sind jedoch in der großen Einsatzfläche zu sehen, da dadurch größere Anwendergruppen mit identischen Geräten bedient werden können als bei nationalen Positionierungssystemen. Bei einer Integration mit LORAN-C-Systemen wären sogar im Bereich der Verfügbarkeit uneinholbare Vorteile zu erreichen.

## **3 Globale Navigationssatellitensysteme**

### **Stufe 2: GNSS-2 (GALILEO)**

#### **3.1 Warum GALILEO?**

Der allgemeine Trend der Industrienationen, Schlüsseltechnologien in ihrem Bereich zu fördern, um eine spezielle Kompetenz zu sammeln und sie in Produkte und Dienstleistungen umzusetzen, hat in Europa (endlich) auch den Bereich der Funknavigation erfasst. Bisher haben nur die USA mit GPS und Russland mit GLONASS derartige Systeme global aufgebaut, wobei die USA mit GPS praktisch über ein Monopol verfügen. Die Entscheidungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass sie dieses Monopol auch geschickt zu verteidigen wissen. Die Systeme sind in den achtziger Jahren konzipiert und damals militärisch finanziert und auch inhaltlich dominiert worden. Dieser Umstand verbietet beispielsweise in einigen Bereichen die Nutzung als „alleiniges Hilfsmittel der Navigation“. Die steigende Akzeptanz der Funknavigation in vielen Wirtschafts- und Lebensbereichen lässt die Abhängigkeit von GPS ständig steigen, so auch im Vermessungswesen, wenn über die SAPOS-Dienste HEPS oder GPPS ein GPS-gestütztes „Festpunktfeld ohne Festpunkte“ eingeführt und ohne vertragliche Absicherung das bestehende analoge Festpunktfeld der Landesvermessung aufgegeben wird. Alle diese Umstände führten auf Vorschlag der europäischen Verkehrsminister zu einer Entschließung des Rates der Europäischen Gemeinschaft vom 19.6.1999, in der der Aufbau eines europäischen Funknavigationssystems empfohlen und die Durchführung einer Definitionsphase zur inhaltlichen Ausgestaltung finanziert wurde.

#### **3.2 GALILEO als europäische GNSS-2-Realisierung**

Der völlige Neuaufbau eines Funknavigationssystems eröffnet völlig auch neue Möglichkeiten. Auch wenn in Teilbereichen die Erfahrungen für die Erstellung einzelner Komponenten noch fehlen mögen, so kann man doch mit dem Anforderungsprofil der Nutzer und dem Stand der Technik des Jahres 2000 planen, auf die fast zwanzigjährige Erfahrung mit den Vorläufersystemen zurückgreifen und auf diese Weise falsche oder ungeschickte Weichenstellungen der Vergangenheit vermeiden. Auch die USA nutzen diesen Umstand bei der Konzipierung und Entwicklung ihres BLOCK III-Weltraumsegmentes. Das hierbei stark auf einem „Markt“ geschaut wird und Aspekte der nationalen Sicherheit gelegentlich zurücktreten, zeigt z.B. die SA/AS-Entscheidung des amerikanischen Präsidenten Clinton vom 1.5.2000. Europäische Studien gehen von einem Umsatzvolumen im Jahr 2005 von 6 Milliarden Euro aus, das

schwerpunktmäßig in den Bereichen Mobilkommunikation und Navigation im Straßenverkehr erbracht werden soll, bei dem jedoch auch das Vermessungswesen mit 100 Millionen Euro Umsatz zu den größeren Bereichen der zweiten Reihe gehört.

Insgesamt folgt aus diesen Rahmenbedingungen:

- nur **globale Systeme** haben eine wirtschaftliche Chance,
- neben dem **heutigen Stand der Technik** muss
- auch die heutige **Aufgabenstruktur mit vielfältigen Dienstleistungen** erfüllt werden.

Daraus folgt,

- dass nur Systeme unter **ziviler Führung** eine Chance haben werden, und es liegt auch nahe,
- für die Finanzierung „**public private partnership**“ auf geeignete Weise einzubeziehen.

	Kosten in Mill. Euro
• Definitionsphase (bis Dez. 2000)	80
• Entwicklungs- und Validierungsphase (2001 - 2006)	1.100
Detaillierte Gesamtbeschreibung der einzelnen Segmente (Raum-, Boden- und Nutzersegment)	
- Entwicklung der Satelliten und terrestrischen Komponenten	
- „In Orbit,-Validierung des Systems	
• Errichtungsphase (2006 – 2007)	2.150
- Herstellung, Start der Satelliten	
- vollständige Inbetriebnahme des Bodensegmentes	
• Betriebsphase (ab 2008)	220
- Erneuerung der Satelliten, Betrieb der Zentren, Wartung	pro Jahr

Tab.1: Die einzelnen Phasen des Programms GALILEO und ihre Kosten in Mill. EURO (einschl. EGNOS)

Name	Zielsetzung/Inhalt
GALA	Allgemeine Systemanforderungen, Markuntersuchungen und Erarbeitung der einzelnen Systemkomponenten
GEMINUS	Definition der Dienste und ihrer Anforderungen
INTEG	Integration von EGNOS in GALILEO
GALILEOSAT	Erarbeiten der Gestaltung des Weltraumsegmentes und der dazugehörigen Bodeninfrastruktur
SAGA	Erarbeiten und Einbringen von internationalen Standards
SARGAL	Untersuchungen über „Search and Rescue (SAR), – Strukturen
MUSSST	Sicherheitsrelevante Anwendungen im Verkehrswesen

Tab. 2: Studien der Definitionsphase

Allgemeiner Dienst	Freier Zugang zu den Signalen, aber keine Integritätsinformationen
Kommerzieller Dienst	Begrenzter Zugang, Integritätsinformationen, präzises Zeitsignal (100 ns)
Dienste von öffentlichem Interesse (Personensicherheit, SAR, Regulierungsbereich)	Begrenzter Zugang, Informationen über Signalqualität, Time/to/Alarm (Warnungen) innerhalb von 6 s, Verfügbarkeit 99,9 %

Tab. 3: Die geplanten drei GALILEO-Dienste

Zur Realisierung dieser Vorstellungen ist das Projekt GALILEO in die in Tab. 1 zusammengefassten verschiedenen Phasen unterteilt worden, wobei der Definitionsphase die Aufgabe zukommt, die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Alternativen zu erarbeiten. Dabei wird die eigentliche Entscheidung über die Einrichtung des Gesamtsystems auf das Ende der Definitionsphase verschoben, deren Hauptuntersuchungsgegenstände in Tab. 2 zusammengestellt wurden. Insgesamt geht es dabei um die Ausgestaltung der in Tab. 3 aufgeführten Dienste, die dazu benötigten Frequenzen wurden auf der

Weltfunkkonferenz des Jahres 2000 in Istanbul als Option bereitgestellt. Insgesamt wird die folgende Ausgestaltung vorgeschlagen:

- Weltraumsegment:
  - 27 + 3 Satelliten in 3 Bahnen + 3-9 GEO-Satelliten
  - 24.000 km Abstand
  - Inklination 55°
  - Frequenzen E1, E2, E5, Safety of life
  - höhere Sendeleistung
  - Verfügbarkeit: 99,99 %
  
- Kontrollsegment
  - geodätisches Bezugssystem ITRS/ITRF
  - ca. 14 Trackingstationen
  - Time to Alarm: < 6 s
  
- Nutzergenauigkeit: 4 m (95 %)

### **3.3 Bewertung**

Der Wille der europäischen Gemeinschaft, ein zusätzliches globales und ziviles Funknavigationssystem aufzubauen, besteht weiterhin und wird in seiner Ausgestaltung durch umfassende Studien hinterlegt (Definitionsphase). Das dazu benötigte Finanzvolumen könnte mit der notwendigen politischen Priorität ohne weiteres aufgebracht werden, es steht jedoch derzeit noch nicht gesichert zur Verfügung. Auch die im Finanzrahmen vorgesehenen 1,5 Milliarden Euro aus PPP-Aktivitäten müssen noch eingeworben werden.

Aus geodätischer Sicht ist die angestrebte Kompatibilität mit GPS zu begrüßen und stellt zusammen mit dem Vorschlag, ein Weltraumsegment mit 30 Satelliten aufzubauen, eine Stärkung der Verfügbarkeit im Allgemeinen und der Echtzeitanwendungen im Besonderen dar. Mit der Inklination von 55° würde Nordeuropa besser überdeckt. Auch ist hervorzuheben, dass als geodätisches Bezugssystem ITRS/ITRF benannt wurde. Die stärkere Sendeleistung wird hoffentlich zu einer geringeren Störanfälligkeit der Signale führen. Wenn es

gelingt, die Phasen- und Codemessgenauigkeit auf GPS-Niveau zu halten, ist zusammen mit der dritten Frequenz auch mit Verbesserungen bei der Mehrdeutigkeitsbestimmung zu rechnen.

## **4 Radionavigationspläne und Anforderungen des Vermessungswesens**

Die gestiegene Bedeutung der Navigation und insbesondere der Funknavigation für Wirtschaft und Gesellschaft hat dazu geführt, dass zumindest die Industrienationen dazu übergehen, Radionavigations- bzw. Funknavigationspläne aufzustellen und fortzuführen. Dies geschah zuerst in den USA, die inzwischen über eine ganze Reihe derartiger Pläne verfügen, auch in Deutschland liegt ein inzwischen aufdatierter Funknavigationsplan vor (DFNP 99). Inhaltlich und rechtlich stellen Funknavigationspläne nur Informationen zusammen. Es werden die vorhandenen Systeme zusammengetragen und ihr Ausbauzustand und -trend dargestellt. Damit ergibt sich ein Überblick über die Grundversorgung in einem Land sowie die Chance der Koordinierung der einzelnen Systembetreiber. Auch die Nutzer gehen mit ihren Anforderungsprofilen und Wünschen ein, die dann im politischen Raum in konkrete Handlungen umgesetzt werden können. Im deutschen Funknavigationsplan ist auch das Vermessungswesen als großer Nutzer vertreten. Während es 1996 jedoch als vierter Bereich neben Land-, Luft- und Seeverkehr auftrat, reiht es sich 1999 stärker in die stark gestiegene Anzahl der sonstigen Nutzer ein. Die Bedeutung von Radio- bzw. Funknavigationsplänen kann kontrovers beurteilt werden. Auf jeden Fall stellen sie ein bislang nicht vorhandenes Forum für die Erarbeitung und Abstimmung von Nutzerwünschen dar und verstärken auch die nationale Interaktion zwischen den bislang eher isoliert arbeitenden Systembetreibern,

Bei der Konzipierung des europäischen GALILEO-Systems konnte nicht auf einen europäischen Radionavigationsplan zurückgegriffen werden, für die Systementscheidung wurden die Nutzerwünsche und -profile getrennt ermittelt. Es stellt sich hier die Frage, ob die Wünsche des Vermessungswesens auch angemessen berücksichtigt werden. In Deutschland haben die Nutzer auf speziellen Nutzerkonferenzen ihre vorab in Arbeitsgruppen zusammengetragenen Wünsche vorgetragen. Dies ist auch für das Vermessungswesen geschehen (z.B. Irsen (2000)). Leider sind die europäischen Organisationsformen und Strukturen recht unterschiedlich, so dass das Vermessungswesen nicht mit einer Stimme

aufreten kann. Auch wird es meist nur als Nutzer gesehen und in seiner Dienstleisterrolle nicht ausreichend berücksichtigt.

## **5 Ausblick**

In Europa finden derzeit wichtige Überlegungen zum Aufbau europäischer GNSS-Strukturen statt, die teilweise auch schon umgesetzt werden. Die für das Vermessungswesen besonders wichtige GNSS-2-Entscheidung ist auf dem richtigen Weg, ihre Umsetzung kann jedoch derzeit noch nicht abschließend bewertet werden.

### **Literatur:**

Augath, W., Müller, A. (1999): Internationale Aspekte der Satellitennavigation und deren Auswirkung auf SAPOS 2. SAPOS-Symposium Berlin

Bauer, (1997): Vermessung und Ortung mit Satelliten. Wichmann Verlag, Heidelberg.

DFNP (1999): Deutscher Funknavigationsplan 1998, Bonn/Berlin

Irsen, W. (2000): Anforderungen des Vermessungswesens an GALILEO.

DGON-Symposium „Ortung und Navigation 2000“, S.73-79.

Anschrift des Autors:

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

Technische Universität Dresden

Mommsenstr. 13

01062 Dresden

E-mail: wolfgang.augath@mailbox.tu-dresden.de