



FUNKNAVIGATION ENTWICKLUNG UND ZUKUNFT

Dipl.-Ing. U. Petersen*

Referent für Elektronischen Navigation der Kreuzer-Abteilung des DSV

Mai 2000, die künstliche Signalverschlechterung (SA) beim "Global Positioning System" (NAVSTAR-GPS) wird vorfristig, wirtschaftlich bedingt zurückgenommen.

Frühjahr 2001, das BMVBW¹ überraschte mit der Aussage, daß sich die Bundesrepublik Deutschland bei der Schiffssicherheit nur noch auf **GNSS** (Global Navigation Satellite System, GPS und/oder GALILEO) stützen werde. Eine Absicherung von GNSS sei nicht erforderlich, als Backup genühten die an Bord vorhandenen Einrichtungen wie z.B. Inertialsysteme, Echolot usw. Diese gefährliche Entscheidung gilt offenbar weiterhin.

Ende September 2001, das BMBF² warnte im Gegensatz dazu vor möglicherweise eingeschränkter Verwendbarkeit von GPS!

26. März 2002, die Entscheidung der europäischen Verkehrsminister für den Aufbau von GALILEO fällt mit 15 Monaten Verzug.

26. Juni 2004, USA und EU unterzeichneten ein Abkommen über einheitliche Signalstrukturen bei GPS und GALILEO. Damit schien der Weg für ein echtes Kombisystem geebnet.

28. Dezember 2005, der erste Galileo-Testsatellit (GIOVE-A, Galileo In-Orbit Validation Element) wurde gestartet, am 26. Apr. 2008 folgte GIOVE-B.

Oktober 2006, China veröffentlichte Einzelheiten seines geplanten Satelliten-Navigationssystems BEIDOU / COMPASS.

18. Sept. 2007, das Weiße Haus gab bekannt, daß zukünftige GPS-Satelliten nicht mehr die SA-Befähigung besitzen müßten. Dies gilt für die GPS III-Generation, erster Start frühestens 2014. Bereits 1995 auf der Sat.-Nav.-Tagung in Palm Springs bezeichnete Dr. James R. Schlesinger (US Verteidigungsminister 1973 bis 1975) SA als kontraproduktiv.

7. Febr. 2008, USA entscheiden, LORAN modifiziert als **eLORAN** zum Schutz der Infrastruktur als **Redundanz zu GPS** einzurichten. An dieser Entscheidung war der als Vater von GPS bekannte Prof. Bradford Parkinson wesentlich beteiligt.

Januar 2009, Veröffentlichung des Untersuchungsberichts „**Summary of Initial Findings on eLoran**“. Der Bericht wurde auf Veranlassung von DoT und DHS (Ministerium für Nationale Sicherheit) von einem Independent Assessment Team (IAT) des Institute for Defense Analyses (IDA) unter Vorsitz von Prof. Bradford Parkinson, (Vater von GPS) bereits am 13. Dez. 2006 den Auftraggebern vorgelegt, im März 2007 akzeptiert, damals aber nicht veröffentlicht. Er war Grundlage für die US Entscheidung zu eLORAN vom 7. Febr. 2008.

Feb 2009, Veröffentlichung des **US Federal Radionavigation Plan (FRP) 2008**, unterzeichnet von Secretary: DoT, Mary E. Peters 04.12.08; DoD, Robert M. Gates, 23.01.09; DHS, Michael Chertoff, 16.01.09. Danach soll **eLORAN als Redundanz für GPS** dienen.

März 2009, der US Haushaltsplan für 2010 erscheint, Wegfall der Mittel LORAN (DHS, USCG), Ersparnis 2010 \$36 Mio. und \$190 Mio. über 5 Jahre.

USCG hat aber bereits 20 von 24 LC-Stationen modernisiert und fähig für eLORAN gemacht.

30. April 2009, die "**GPS Civil Monitoring Performance Specification**" werden vom DoT

¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

² Bundesministerium für Bildung und Forschung

veröffentlicht.

07. Mai 2009, der Untersuchungsbericht des US Government Accountability Office (GAO) „**GPS Significant Challenges in Sustaining and Upgrading Widely Used Capabilities**“ erscheint mit Hinweisen auf erhebliche Mängel bei der Kompetenz, Satelliten-Auftrags - definition und -vergabe sowie der Satelliten-Produktion und ihrem Betrieb. Es gibt 2 Fassungen der Studie, lang 61 und kurz 15 Seiten! Die Air-Force hält dagegen, es werden ständig 24 Satelliten in Betrieb sein. Auf einige dieser Mängel wies bereits eine frühere Studie (Studie des Defence Science Board) hin.

Auch in der 15. Folge (2003) meiner vorliegenden Veröffentlichung verwies ich schon auf wesentliche Mängel (überalterte Satelliten).

29. Juni 2009, der EU Rechnungshof veröffentlicht seinen Sonderbericht Nr. 7/2009 „**Verwaltung der Entwicklungs- und Validierungsphase des Projektes GALILEO**“ (untersuchter Zeitraum bis 2006), mit erheblichen Vorwürfen hinsichtlich Organisation und Finanzen.

01. Okt. 2009, für EGNOS erfolgt die Freigabe des Open Service (OS).

28. Okt. 2009, US Präsident **Obama** unterzeichnet ein Gesetz, daß es **erlaubt LORAN im Jan 2010 abzuschalten**, da GPS alle Bedürfnisse erfüllt. Notwendige Voraussetzungen sind die Unterschriften der Leiter von Coast Guard und DHS.

01. Dez. 2009, die Zustimmung des Kommandanten der US Coast Guard erfolgt, das DHS allerdings will GPS-Redundanz wegen der Gefahren für die Infrastruktur der USA nochmals überdenken.

Dez. 2009, Internationale Seezeichen Verwaltung (IALA) veröffentlicht ihren World Wide Radio Navigation Plan.

01. Febr. 2010, EU veröffentlicht Spezifikationen für GALILEO Open Service (OS) „**Signal In Space Interface Control Document**“ (OS.SIS.ICD Issue 1, vergleichbar GPS-IS-200E).

08. Feb. 2010, Loran-C wird von den USA weitgehend abgeschaltet.

26. Jan. 2011, US Federal Communications Commission (FCC) erteilt Firma **LightSquared** vorläufige Genehmigung eines landesweiten, terrestrischen Mobilfunk-Netzes (LTE) unter Verwendung des Satelliten-Mobilfunkbandes angrenzend an das geschützte Frequenzband für Satelliten-Navigation.

22. Dez. 2011, **GLONASS** wird mit 24 Satelliten von Rußland wieder als voll betriebsklar erklärt (FOC).

27. Dez. 2011, China erklärt **BEIDOU/COMPASS** als verwendungsfähig für China und angrenzende Gebiete (IOC).

Die Eigenschaften des von aller Welt genutzten GPS sind von außen gesehen ohne Zweifel hervorragend. Seit längerem wird jedoch offen über die Gefahren gesprochen, GPS als einziges Navigationssystem zu verwenden. Sogar Prof. Bradford Parkinson, Vater von GPS, verwies schon auf der Sat. Nav. Tagung GNSS 07 (Mai 07, Genf) auf die gefährlich einseitige Abhängigkeit vom GPS L1 C/A-Signal. Er forderte dringend, Nutzung und Gerät robuster zu machen. Die US President's Commission on Critical Infrastructure Protection hatte ebenfalls bereits 1997 ausdrücklich auf die Störanfälligkeit von GPS hingewiesen. Auch die Studie des VOLPE Research Center (10.Sept.2001 veröffentlicht) machte deutlich, daß GPS-Redundanz-Systeme zur Sicherung unabdingbar sind. In einem Report vom 04.Nov. 2010 fordert das National Position, Navigation and Timing Advisory Board GPS zur kritischen Infrastruktur zu erklären und entsprechend vom DHS zu betreuen. Die General Lighthouse Authorities (GLA, England) kamen in einer Studie (May 2006) zu der Erkenntnis, daß für die Satelliten-Navigation eine Bedrohung durch Störungen, nicht nur terroristischen oder kriminellen Ursprungs, mit erheblichen ökonomischen und finanziellen Folgen besteht und deshalb ein Redundanz-Verfahren unabdingbar sei. *Global Navigation Space Systems: reliance and vulnerabilities Studie der The Royal Academy of Engineering, März 2011 (www.raeng.org.uk)*. Statt dessen begibt man sich, alle Warnungen aus Fachkreisen ignorerend, verstärkt in die Abhängigkeit von

GPS und es werden national oder international Verfahren/Systeme zur Verwendung an Bord vorgeschrieben bzw. vorgeschlagen, die bei ihrer Anwendung **allein** auf GPS-Positionen und/oder -Zeittakten basieren. Das Global Maritime Distress and Safety System (**GMDSS**), Automatic Identification System (**AIS**), Electronic Chart Display and Information System (**ECDIS**) aber auch die Bahnführung sind auf GPS als sogenanntes Stand-Alone-Verfahren angewiesen. Insbesondere auf den Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen wird die Zeit für notwendige Querschecks immer kürzer. Es wurde bereits auf die Gefahr von GPS unterstützten Strandungen, Kollisionen und auch den Verlust von Menschenleben hingewiesen. Sind doch ähnliche Zusammenhänge aus der Vergangenheit bei der Einführung von Radar oder Autopiloten bekannt, spektakulär waren z.B. die radarbedingte Kollision "Stockholm" / "Andrea Doria", und die GPS/Bahnführungsbedingte Strandung "Royal Majestic" und "Silja Europa".

Für die staatlichen Verwaltungen besteht die Verpflichtung, auf Gefahren und Mängel hinzuweisen, die für die ganze Gesellschaft aus einer einseitigen Abhängigkeit großer, kritischer Infrastrukturbereiche von **ungesicherten** Systemen resultieren. Hier sollte auch bedacht werden, daß GPS längst kein reines Navigationssystem mehr ist. Es hängen mit zunehmender Tendenz auch viele kritische, dezentral zeitgesteuerte Anwendungen von GPS als Zeitbezug ab, wie z.B. **Mobilfunk- und Stromversorgungsnetze, Internet, Börsentransaktionen, digitale Rundfunk- und Fernsehsendungen** aber auch das im Rahmen der Energiewende diskutierte **Smartgrid**. Darüber hinaus haben die Verwaltungen dafür zu sorgen, daß sich die Unsicherheiten der benötigten Systeme nicht katastrophal auswirken können.

Die USA reagierte auf die Gefährdung von GPS nach dem 11.Sept.2001 sehr schnell, am 7.März 2002 lag vom DoT ein Aktionsplan zur Absicherung der auf GPS beruhenden Infrastrukturbereiche vor. Aber auch die Defizite von GPS waren Anlaß einer vom US Verteidigungsministerium vergebene und im Oktober 2005 veröffentlichten Studie „**The Future of the Global Positioning System**“ des Defence Science Board Task Force. Hingegen zeigen sich die EU ebenso wie die Mitgliedsstaaten weiterhin auf GALILEO fixiert. Auf der European Navigation Conference 08, Toulouse Apr. 2008, hörte man von **Paul Verhoef**, dem **EU-Vertreter für Galileo**, daß gezielte Störungen der Satelliten-Navigation mittels des jeweiligen Navigationsempfängers zu beseitigen seien. Ein Backup gebe es für die EU grundsätzlich nicht. Es könnten jedoch von den einzelnen Verkehrsbereichen Complementary Systems definiert werden; die größte Uneinigkeit über ein solches System bestünde im maritimen Bereich. **In Deutschland ist es z. Zt. politisch nicht opportun das Thema überhaupt anzusprechen; es sei ja noch nichts passiert.**

GPS-Verfahren mit verschiedenen großen Fehlern

GPS läßt eine kontinuierliche, dreidimensionale Standort- und Geschwindigkeitsbestimmung zu. Das Verfahren bietet zwei Dienste mit unterschiedlichen Eigenschaften. Der sogenannte Precise Positioning Service (**PPS**), früher P-Code genannt, ist codiert und verschlüsselt. Er steht nur den Streitkräften der USA und ihren Verbündeten zur Verfügung. Der zweite Dienst, Standard Positioning Service (**SPS**), früher C/A-Code genannt, ist einfacher codiert, unverschlüsselt und allen Nutzern zugänglich. Aber auch er wurde ursprünglich nur für militärische Zwecke entwickelt, zur Synchronisation (**Coarse Acquisition**) der Empfänger auf den P-Code.

Seit Oktober 2001, aktualisiert 2008, liegen die GPS-Spezifikationen für den Betrieb, nach der am 2.Mai 2000 abgeschaltete Signalverschlechterung (SA), vor. Danach übersteigt im ungestörten Zustand der Positionsfehler in 95% (PDOP ≤ 6) aller Fälle nicht ± 9 m; vorausgesetzt wird dabei, daß alle mehr als 5° über dem Horizont stehenden Satelliten benutzt werden. Damit ist jetzt auch im zivilen Bereich eine Geschwindigkeitsermittlung möglich. Inzwischen wird auch das zivil genutzte Signal auf Einhaltung der Spezifikationen überwacht.

Die Wahrscheinlichkeitsangabe, daß 95% aller Positionsermittlungen mit einem Fehler von maximal ± 9 m behaftet sind, bedeutete nicht, daß bei jeweils 100 Messungen nur 5 eine größere Unsicherheit als ± 9 m aufweisen. Der Wahrscheinlichkeitsangabe liegt jeweils ein Zeitraum von 24 Stunden (Wiederholung der Satellitengeometrie) zugrunde. Theoretisch könnten also für die Dauer von 72 Minuten (5% von 24 h) Fehler über ± 9 m auftreten. Über den maximalen Fehler werden nur indirekte Angaben gemacht. Er soll gemittelt über 1 Jahr in 99,79% aller Fälle das sechsfache, d.h. ± 54 m nicht übersteigen. Die Verwendung von GPS erfolgt laut USA jedoch auch weiterhin auf eigenes Risiko.

GPS befindet sich seit längerer Zeit in einem hervorragenden Zustand, z.Zt. sind die maximal möglichen 31 Satelliten aktiv, garantiert werden von den USA aber augenblicklich weiterhin nur 24 (worauf auch die geometrische Anordnung, Konstellation, optimiert ist) mit einem kurzzeitigen Minimum von 22, hierfür gelten auch die SPS-Spezifikationen. Als Folge des augenblicklichen Überangebotes ergeben sich bei der Positionsermittlung sehr viel geringere Fehler (teilweise weit unter ± 10 m) als erwartet und aus den US-Unterlagen zu entnehmen, es sei denn, es liegt eine Abschattung vor, z.B. in Fjorden oder Häuserschluchten.

Die aktiven Satelliten sind unterschiedlich ausgestattet, wie ihrer Zugehörigkeit zu den Blöcken IIA, IIR und IIF zu entnehmen ist. So haben die Block IIA-Satelliten (noch 10 in Betrieb) z.B. eine Konstruktionslebensdauer von 7,5 Jahren mit einer erwarteten mittleren Betriebsdauer von 6 Jahren; für die Block IIR-Satelliten (Replacement Satellites, 19, davon 7 IIR-M) lauten die entsprechenden Zahlen 10 und 7,5 Jahre. Für die IIF-Generation, 2 Satelliten aktiv, sind 12 Jahre Lebensdauer geplant. Aus diesen rechnerischen Lebenserwartungen könnten sich erhebliche Probleme ergeben, denn es tun inzwischen 16 Satelliten mehr als 9 Jahre Dienst, davon: 5 zwischen 9 und 12, 11 über 12 Jahre (Maximum 21 Jahre, PRN 32).

Es muß also jederzeit mit überraschenden Ausfällen aus der Menge der "überalterten" Satelliten gerechnet werden. Zur Absicherung laufen 3 Reserve-Satelliten um.

Es sind aufgrund der vorstehenden Tatbestände einige Unsicherheiten des Global Positioning Systems unverkennbar. Die Befürchtung des GAO Berichtes, daß ab 2010 nur mit 95% Wahrscheinlichkeit noch 24 Satelliten in Betrieb seien, traf glücklicherweise bisher nicht ein. Hinzu kommen die bisher unbekanntes, in der Studie des Defence Science Board aufgezeigten und in der GAO Untersuchung erneut bestätigten, erschreckenden Mängel bei Entscheidungen, Finanzierung und Pflege des Systems. Hier liegt offenbar auch die Ursache für die häufig widersprüchlichen Aussagen zu GPS.

Es darf auch nicht darauf vertraut werden, daß das Militär ja ein funktionsfähiges System benötigt. GPS enthält die Möglichkeit, seine Funktionsfähigkeit durch Verschieben von Satelliten für ein Krisengebiet zu optimieren. Augenblicklich wird die Satelliten-Konstellation durch Verschiebung umgebaut, ausgelöst durch Erfordernisse in Afghanistan. Dort sind wegen der Abschattungen in den Tälern z. Zt. nur für kurze Zeiträume hohe Positionsgenauigkeiten zu erzielen. Die jetzige 24 Sat.-Konstellation wird auf eine 24+3 Konstellation optimiert.

Volle Betriebsbereitschaft 1995

Die Entwicklung des Satelliten-Navigationsverfahrens GPS-NAVSTAR begann in den 70er Jahren für die Sicherheitsbelange der USA. Die Voraussetzung der vollen, militärischen Betriebsbereitschaft war am 27. April 1995 erreicht. Das DoT erklärte NAVSTAR-GPS am 17. Juli 1995 für voll verwendungsfähig (Full Operational Capability, FOC).

Der Betreiber des Verfahrens unterwarf sich damit einer Informationsverpflichtung über den jeweiligen Verfahrenszustand. Die offizielle Freigabeerklärung im Federal Register, dem Amtsblatt der

USA, enthält hierzu Einzelheiten. Sie wurden später mehrfach ergänzt.

Ungewißheiten bei ziviler GPS-Anwendung

Der Tatbestand, daß das GPS-Verfahren vorrangig für die Sicherheitsbelange der USA, d.h. für militärische Zwecke, entwickelt und aufgebaut wurde, darf nie außeracht gelassen werden. Es enthält dementsprechend Möglichkeiten, den Zugang und die Anwendung seitens nicht autorisierter Nutzer, zu denen auch die zivilen Anwender gehören, zu erschweren oder gar zu verhindern. Eine globale Beschränkung, wie sie SA bis Mai 2000 darstellte, ist jedoch nicht mehr zu erwarten. Die Verwendungseinschränkungen werden auf das jeweilige Konflikt- bzw- Schutzgebiet begrenzen sein. Derartige Veränderungen der Positionsunsicherheit lassen sich nur erkennen, wenn ein mindestens ebenso genaues, unabhängiges Vergleichsverfahren eingesetzt wird.

Während der Kosovo-Krise wurden z.B. Teile der sonst frei zugänglichen Informationen für zivile Nutzer gesperrt. Auswirkungen auf die normale Navigation gab es aber nicht. Während des Irak-Krieges kam es zu örtlich begrenzten Verwendungseinschränkungen.

GPS Modernisierung

Bereits 1995 begannen Bemühungen, das militärische Potential von PPS zu erhöhen, der Systementwurf ist schließlich inzwischen über 30 Jahre alt.

Das Ende einer längeren Diskussion war am 28.März 1996 die Richtlinie des US Präsidenten (Presidential Decision Directive, PDD) für die zukünftige Handhabung und Nutzung von GPS und seiner von den US-Verwaltungen bereitgestellten Ergänzungen. Sie wurde am 15.Dezember 2004 durch eine neue Richtlinie zur Politik der satellitengestützten Einrichtungen zur Verwendung von Position und Zeit (PNT) ersetzt. Die Dreiteilung politische Ziele, politische Richtlinie, Verantwortung der Ministerien blieb, es wurde aber eine Verstärkung der Sicherheitsgesichtspunkte und eine Verschärfung der Richtlinien für den Export sensibler Techniken vorgenommen:

- 1) GPS-SPS wird weiterhin kostenlos, kontinuierlich, weltweit für friedliche Verwendung auf eigenes Risiko zur Verfügung gestellt.
- 2) GPS und die staatlicherseits vorgenommenen Ergänzungen (DGPS, LAAS, WAAS) bleiben in der Entscheidungsverantwortung der National Command Authorities (Präsident, Verteidigungsminister, Oberster Stabschef).
- 3) Es wurde ein ständiger Ausschuß unter wechselnder Leitung DoD und DoT eingerichtet (National Executive Committee Space-Based Positioning, Navigation, and Timing (PNT), Nachfolge für Interagency GPS Executive Board, IGEB, 1994 bis 2004).
- 4) Die fremden Systeme und Ergänzungen sind in ihren möglichen Wirkungen auf die Sicherheit der USA zu analysieren.
- 5) Die Verantwortung für GPS und die Ergänzungssysteme wird aufgeteilt auf die Ministerien für:
 - Verteidigung: Entwicklung (auch Zusatzlasten für globale SAR-Zwecke und Backup-Systeme), Betrieb von GPS, Fragen der mil. Nutzung,
 - Verkehr: Fragen der zivilen Nutzung, Entwicklung, Betrieb von Ergänzungssystemen für zivile Infrastruktur,
 - Handel: Fragen der Frequenz-Sicherung und -Beschaffung,
 - Äußeres: Verbreitung von GPS als internationales Standard-Navigationverfahren zur Vermeidung von Gefahren für die US Wirtschaft,
 - Nationale Sicherheit: Fragen der Nutzung für Innere Sicherheit, Abwehr gefährlicher Nutzungen und Störungen im Inland.

Am 1. Mai 2000 wurde das vorzeitige Abschalten von SA in einer Pressekonferenz des Weißen Hauses veröffentlicht. Dort wurde auf Befragen aber bestätigt, daß DGPS weiterhin notwendig sei. Mit einer Sondermaschine sandte der US Präsident Mr. GOLDIN (Chef der NASA) am 2. Mai zur internationalen Satelliten-Navigationstagung GNSS 2000 nach Edinburgh, um bekannt zu geben, daß SA in der Nacht abgeschaltet worden sei.

Gründe des vorzeitigen Abschaltens waren die US GPS-Frequenzwünsche für die bevorstehende World Radiocommunication Conf. 2000 (WRC-2000) und das geplante europäische Satellitensystem GALILEO; den Termin der Bekanntgabe bestimmte die GNSS-Tagung mit über 500 Teilnehmern (optimale Öffentlichkeit!).

Mit dem Abschalten von SA verminderte sich zwar der Positionsfehler auf ca. 10% des bisherigen, an den fundamentalen Einschränkungen von GPS änderte sich jedoch nichts. Für sicherheitskritische Anwendungen, bei denen unentdeckte Systemfehler sofort zu schwersten Risiken führen, ist GPS allein weiterhin nur bedingt geeignet (z.B. Durchsteuern Kadettrinne, auch die Empfehlung des BMVf, hierbei zugelassene ECDIS-Anlagen einzusetzen, verbessert die Situation nicht). Die im Auftrag einer US Presidential Decision Directive erstellte VOLPE-Studie (10. Sept. 01 veröffentl.) über die Verwundbarkeit der auf GPS beruhenden nationalen Verkehrsinfrastruktur fordert für alle sicherheitskritische Anwendungen die Entwicklung und Einführung geeigneter GPS-Stütz- bzw. GPS-Redundanz-Systeme.

Die Weiterentwicklung des Precise Positioning Service, PPS, verteilt sich etwa gleich auf Steigerung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der Störfestigkeit.

Die Satelliten-Software wurde geändert, es wurden bislang freie Plätze des Datentelegramms der Satelliten belegt.

Auch die Anzahl der anfangs 5 GPS-Monitorstationen wurde erhöht. Stationen der National Imagery and Mapping Agency erhielten GPS-Monitorausstattung. NIMA vormals Defence Mapping Agency (DMA) erhielt als Folge des 11. Sept. zusätzliche Aufgaben und einen neuen Namen „National Geospatial-Intelligence Agency“ (NGA) und wurde vom Departm. of Defence ins Departm. of Homeland eingegliedert. Der NGA untersteht auch die Master-Station des im Aufbau befindlichen GPS Jamming Location System (JLOC). Die dort gesammelten, aktuellen Daten über GPS-Störungen, werden in der Master Station auf aktuelle Einflüsse für die militärischen und zivilen Verwendungsbereiche von GPS analysiert und notwendige Abwehrmaßnahmen veranlaßt. Mit den jetzt 16 GPS-Monitorstationen lassen sich 31 Satelliten jeweils von 2 Stationen beobachten. Es lassen sich so laufend Bahn-, Zeit- und Gesundheitsdaten der Satelliten ermitteln und damit die Navigation Message der Master Control Station (MCS) für jeden einzelnen Satelliten schneller aktualisieren. Jeder Satellit hat jetzt außerdem die Bahndatenkorrekturen für alle anderen. Lediglich nach dem Satelliten mit der jüngsten Aufdatierung muß gesucht werden, um für alle Satelliten die aktuellsten Korrekturen zu erhalten. Um den Suchvorgang zu beschleunigen, wurde die Kanalzahl bei den mil. Anlagen erhöht. Mit dieser Maßnahme verbleibt ein Positionsfehler in der Größenordnung von schätzungsweise $\pm 1..1,5\text{m(SEP)}$. Eine zweite MCS wurde in Gaithersbury, Maryland fertig gestellt und übernahm im Oktober 2007 die Kontrolle und den Betrieb der GPS-Satelliten, für 2011 war ein Update geplant. Mit der Software-Anpassung an GPS III soll auch die Zahl zu betreuender Satelliten von jetzt 32 auf 63 erhöht werden.

Mit dieser MCS und der gestiegenen Zahl der Monitorstationen dürfte sich auch für zivile Anwender die Warnzeit bei Satelliten-Störungen verkürzen. Das zivile Signal wird inzwischen auch überwacht. Zivile Anwender sollten aus Sicherheitsgründen aber weiterhin damit rechnen, erst 2h (GLONASS $\geq 6\text{h}$) nach Auftreten eines Satellitenfehlers darüber sicher informiert zu sein. So trat beim GPS-Satelliten PRN 22 am 22. Juli 2001 ein empfängerseitig nicht erkennbarer Uhrenfehler auf. Er wurde zwar von der WAAS-Kontrollstation sofort erkannt, aber für die GPS Master Control Station stand der Satellit für Kontrollmessungen und notwendige Steuerungsmaßnahmen schon zu tief. Erst nach 111 Minuten konnte der Satellit als fehlerhaft markiert werden. Während der

knapp 2 Stunden erzeugte er örtlich bis zu 300 km Positionsfehler. Daß eine derartige Störung kein Einzelfall ist, zeigte sich am 1. Jan. 2004. Bei dem Satelliten PRN 23 trat um 18:33 Uhr (UTC) ebenfalls ein Uhrenfehler auf. Die von heutigen Sportbootanlagen nicht erkennbare Störung endete um ca. 22 Uhr, als die Bodenkontrolle wieder Zugriff auf den Satelliten hatte und ihn als unbrauchbar markieren konnte. Messungen in Kiel ergaben in 95% aller Fälle einen Positionsfehler von $\pm 4,6$ sm. In den restlichen 5% erreichte der Fehler bis zu 22 sm. Dieser Uhrenfehler hatte nach offizieller Mitteilung der USA Auswirkungen auf die Nutzer in großen Teilen Europas, Afrika, Asien, Australien und dem äußersten Norden Nordamerikas.

Derartige Störungen können sich jederzeit wiederholen; lediglich ihre Dauer wird abnehmen.

Überraschend waren 2009 mehrfach offizielle Warnungen über eingeschränkte Nutzung von GPS, wie z.B.:

10. Sept. US Coast Guard warnt vor hohen DOP-Werten (hoher Standort-Fehler) für USA, Asien und Ozeanien für den 11. Sept. 00:30 bis 15:00 UTC.

Für das Seegebiet 240sm östlich Hawai wurde für den 9. Okt. 22:16:36 bis 22:16:39 UTC vor verminderter Empfangfeldstärke wegen Satelliten-Wartung gewarnt.

Derartige Warnungen gab es vorher nicht.

Die Entscheidung der IGEB für die Modernisierung des Standard Positioning Service, SPS, fiel am 27. März 1998. Es wird ein zweites Signal (L2C) auf der GPS-Frequenz L2/1227,60MHz eingefügt, und ein drittes Signal L5, 1176,45MHz. Diese Signale sind für Nutzer mit höchsten Genauigkeitsansprüchen gedacht. Für die normale Navigation werden sie keine Rolle spielen.

Die angestrebte volle Verfügbarkeit des 2. Signals ab 2008 war unrealistisch. Es wird aus folgenden Gründen nicht vor 2016 mit der vollen Verfügbarkeit zu rechnen sein:

- 1) Von der Satelliten-Generation IIR (bisher 20 im Orbit) wurden 8 modifiziert (M-Code, L2C). Inzwischen sind sieben modifizierte Satelliten IIR in Betrieb, der letzte (8.) seit dem 27. Aug. 2009. Der 7. IIR-M-Satellit (SV 49 / PRN 01) mußte nachträglich, wegen der Verzögerungen des IIR-Satellitenstarts, mit einem Signalgenerator für L5 ausgestattet werden, um den Frequenzanspruch bei der ITU (Aug. 09) zu erhalten. Die erforderliche neue Bodenkontroll- Software wurde im Nov./Dez. 09 umfassend erprobt und übernahm 2010 am 11. Jan. 2010 die GPS-Kontrolle.
- 2) Für die folgende Satelliten-Generation IIF (M-Code, L2C, und 3. zivilem Signal L5, außerdem mehr Speicherplatz und schnellere Prozessoren) sollen 12 beschafft werden. Der erste Start, um 3 Jahre verzögert, erfolgte am 28. Mai 2010, vollständige Verfügbarkeit ca. 2020.
- 3) Das DoD ist an zusätzlichen, zivilen Signalen nicht interessiert, es arbeitet im Gegenteil daran, sich von der Synchronisation über den C/A Code freizumachen. Es benötigt seine Haushaltsmittel für die Sicherung der Störfestigkeit. Die Kosten der zivil genutzten Anteile müssen von anderen aufgebracht werden.
- 4) Dem DoD wurde auch der spezielle Haushaltstitel "GPS" gestrichen. GPS-Aufwendungen müssen aus einem Gemeinschaftstitel, der alle mil. Weltraumaktivitäten enthält, bezahlt werden. Hinzukommen unklare Zuständigkeiten bei den Entscheidungen.
- 5) Es wird z. Zt. die GPS III-Generation definiert, ohne SA-Befähigung aber mit 4. zivilem Signal (L1C). Der erste Start ist für frühesten 2014 vorgesehen und 2026 sollen 24 Satelliten in Betrieb sein. Mit dieser GPS-Generation muß GALILEO sich messen, nicht mit dem jetzigen Zustand.

Die dritte GPS-Frequenz 1176,45MHz (L5 Signal), aber auch die Frequenzen für das europäische Satelliten-System GALILEO, wurden auf der WRC im Mai 2000 vorgemerkt. L5 mußte zur Aufrechterhaltung des Anspruches spätestens bis Aug 2009 von einem Satelliten (IIR-M7 nachgerüstet, Start 24. März 09, bis heute nicht für die Navigation freigegeben, man hofft in 2..3 Jahren die Fehlfunktion beseitigt zu haben) zu empfangen sein. Die von China vorgesehene Frequenznutzung wur-

de auf der WRC 2007 (Okt./Nov., Genf) verhandelt. Es werden dieselben Frequenzen für das chinesische System COMPASS gefordert, die auch von GPS (M-Code, L1 und L2) und GALILEO (PRS) verwendet werden.

Unabhängig von den vorstehenden Modifikationen sollen die zukünftigen GPS-Satelliten mit einer Payload für Cospas-Sarsat ausgestattet werden. Dieser Transponder soll das Seenotsignal von 406 MHz in das Distress & Safety-Band L6 (1544-1546 MHz) umsetzen. Hiermit will man die untragbaren Alarmierungszeiten von 70 Minuten und mehr wesentlich vermindern. Seit 2003 fliegen bereits einige IIR-Satelliten mit diesen sogenannten „Proof of Concept“ (POC) Transpondern. Z.Zt. besteht allerdings die Gefahr, daß diese zusätzliche Payload Einsparungen zum Opfer fällt.

GLONASS eine Alternative?

GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) stellt das von der UdSSR entwickelte, ebenfalls vom Militär betriebene Gegenstück zu GPS dar. Auch bei ihm wird mit zwei Frequenzen und Signalen gearbeitet, wobei wiederum ein Signal dem Militär vorbehalten ist. Allerdings kannte GLONASS zu keiner Zeit eine Verschlechterung (SA vergleichbar) des zivil nutzbaren Signals. Es war von Anbeginn mit einem kleinen Fehler behaftet, ca. $\pm 30\text{m}$, und es konnte daher auch immer zur Geschwindigkeitsbestimmung mit herangezogen werden. 24 Satelliten bilden das vollständige System. Sie waren erstmals am 18. Januar 1996 in Betrieb; es erfolgte die Erklärung der vollen Betriebsbereitschaft (FOC). Das System wurde aber in der Folgezeit nicht sehr gut gepflegt, die Zahl von 24 Satelliten konnte nur kurzfristig aufrecht erhalten werden. Zudem wurden nicht alle Systemmängel offengelegt. Bereits nach einem halben Jahr waren nicht mehr 24 Satelliten betriebsbereit, womit letztlich FOC nicht mehr vorlag. Inzwischen wurde GLONASS revitalisiert, es sind wieder 25 (2 in Wartung) Satelliten in Betrieb (letzter erfolgreicher Start 04.11.11, 3 M-Sat.). Die neuen M-Satelliten sollen u.a. eine längere Lebensdauer (7 Jahre) aufweisen. Für sicherheitsrelevante Anwendungen ist die Verwendung von GLONASS allein wohl noch nicht zu verantworten. Präsident Putin drängte erfolglos darauf, daß 2007 wieder 24 Satelliten verfügbar sein sollten. Am 5. Jan. 2007 hob der russische Verteidigungsminister Restriktionen auf. Der Termin der weltweiten Nutzbarkeit von GLONASS (30 Sat.) sollte danach 2011 erreicht sein. Am 22.12.2011 wurde erneut FOC erklärt.

Zusammen mit den USA arbeitet eine Arbeitsgruppe daran die Interoperabilität und Kompatibilität von GPS und GLONASS herzustellen. Inzwischen wurde eine neue Fassung (Vers.5.1, 2008) des „GLONASS Interface Control Document“ (Beschreibung der Signale und ihrer Ausbreitungseinflüsse) veröffentlicht.

Im Febr. 2011 sollte der erste Satellit der neuen K-Generation gestartet werden. Mit ihm erfolgt der GLONASS-System-Umbau, es wird Code Division Multiple Access (CDMA) wie bei GPS (die gleichen Frequenzen für alle Satelliten) eingeführt. Bisher unterscheiden sich die GLONASS-Satelliten untereinander durch ihre genutzten, unterschiedlichen Frequenzen und nicht durch einen zugeordneten Code (PRN) wie bei GPS.

Auswirkungen auf andere Navigationssysteme

Die Betriebsaufnahme von GPS-NAVSTAR blieb nicht ohne Einfluß auf die bisherigen Verfahren.

Es wurden abgeschaltet:

TRANSIT/NNSS

am 31. Dezember 1996

DECCA (Norwegen)

am 28. Februar 1997

(Alter 32 J.)

| | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------|
| OMEGA | am 30. September 1997 | |
| DECCA (Festland) | am 31. Dezember 1999 | |
| DECCA (Engl., Irl) | am 31. März 2000 | (Alter 55 J.) |
| LORAN-C (USA, teilweise) | am 08. Febr. 2010 | |

Geblichen ist weitgehend nur LORAN-C, das aus Sicherheitsgründen insbesondere unter den Bedrohungen durch Terrorismus auch dringend erhalten bleiben sollte, ohne es jedoch als Hyperbel-Verfahren zu benutzen, wie vor mehr als 20 Jahren sonder modifiziert als ENHANCED LORAN (eLORAN).

Heute liegt die hohe LORAN-Bedeutung in der Kombination mit GNSS.

Die terrestrischen Navigationshilfen, wie Tonnen und Leuchtfeuer, wurden und werden teilweise aber auch erheblich vermindert.

LORAN-C: Intensive Nutzung in den USA

Ende 1994 endete für die USA generell die militärische Nutzung von LORAN-C. In den USA wurde infolge der vollständigen Abdeckung des Landes und der angrenzenden Seegebiete LORAN-C intensiv sowohl in der Luftfahrt als auch im Landverkehr genutzt. Nach dem Federal Radionavigation Plan 1994 sollte LORAN-C 2000 abgeschaltet werden, da GPS alle Aufgaben erfüllen könne. Ein von Luftfahrtinstitutionen (FAA, AOPA und JATA) an die APL John Hopkins Univ. gegebener Studienauftrag "GPS as Stand Alone System" ergab, daß GPS aus Sicherheitsgründen, zumindest in der Luftfahrt, als einziges Navigationsmittel (sole mean) ohne Stützung (z.B. Differentialverfahren, LORAN-C) nicht zu verantworten sei. Insbesondere wurde die Gefahr absichtlicher oder unabsichtlicher Störungen untersucht. Die intensiven amerikanischen Untersuchungen, wieweit LORAN-C, eventuell ein verbessertes, sogenanntes eLORAN, als Redundanz für GPS für See- und Luftfahrt genutzt werden kann, ergaben positive Ergebnisse. Selbst die hohen Anforderungen von 8...20m Fehler für die Hafen-Navigation (HEA) konnten erfüllt werden. Die Entscheidung zur Einführung fiel im Febr. 2008. Für diese notwendige Redundanz setzen auch die Nutzer von Zeitsignalen stark auf eLORAN. Eine Anpassung an die Erfordernisse von eLORAN war bereits bei 20 der 24 Stationen erfolgt, als unmittelbar nach Veröffentlichung des Federal Radionavigation Plan 2008 mit seiner Bestätigung der GPS-Redundanz durch eLORAN im US Haushaltsplan 2010 die Mittel für Loran gestrichen waren. Ersparnis 2010 \$36 Mio. und \$190 Mio. über 5 Jahre. Gleichzeitig wurde eine 2 Jahre („Summary of Initial Findings on eLoran“ März 2007) zurückgehaltene Studie des Independent Assessment Team (IAT, Vorsitz Prof. Brad Parkinson, Vater von GPS) vom Institute for Defense Analyses veröffentlicht. Sie zeigt nochmals die Notwendigkeit einer Redundanz zu GPS auf und hält einzig eLORAN für geeignet.

Gegen die Mittelstreichung gab es erheblichen Widersand seitens des Senats. Committee on Commerce, Science and Transport sowie Committee on Homeland Security and Government Affairs, hatten sie doch noch im Apr. 09 für eLORAN gestimmt.

Trotz der Abschaltung des LORAN-C-Signals demontieren die USA die Stationen offenbar bisher nicht.

LORAN-C in anderen Staaten

Der Rat der EU entschied zwar am 25. Febr. 1992, daß LORAN-C das künftige, terrestrische, europäische Navigationsverfahren sein sollte. Im August 1992 fiel die Entscheidung für den Ausbau und Betrieb eines nordwesteuropäischen LORAN-C-Netzes. Das Netz (NELS, North-West European Loran-C System) bestand aus den sechs vorhandenen LORAN-C-Stationen der norwegischen und der französischen Ketten, sowie aus zwei neuen Stationen in Norwegen. Sie wurden zu 4 LORAN-C-Ketten zusammen geschaltet. Die jährlichen Betriebskosten von NELN einschließlich Control

Center Brest und Coordination Center Oslo betrogen lediglich €4,2 Mio. (EGNOS kostet jährlich €110 Mio.). Am 31.12.2005 lief der NELS-Vertrag ohne Verlängerung aus.

Heute ist die Zukunft von LORAN für die Europäische Kommission bislang ohne Interesse, auf der Tagesordnung steht GALILEO. Auf Wunsch der EU laufen aber überraschenderweise alle LORAN-Stationen bis zur Vorlage des Europäischen Radio-Navigationsplanes (ERNP) weiter, einschließlich der deutschen Sylt-Station, mit Betriebskosten aus England.

GALILEO verfügt für Politiker weiterhin über eine magische Immunität gegen Störungen. Im Entwurf des ERNP wird LORAN inzwischen nach langen Diskussionen aber als wesentlicher Bestandteil eines notwendigen Navigations-Verfahrens-Mix vorgesehen und vorgeschlagen die gesamte EU mit LORAN (eLORAN) abzudecken. Die EU-Entscheidung über die endgültige Fassung des ERNP wurde an den Abschluß der Galileo-Konzessionsverhandlungen gekoppelt, die wegen Fragen der Risiko-Verteilung (privat / staatlich, Public Private Partnership) scheiterten. Inzwischen sind einige EU-Staaten verärgert, daß der ERNP noch immer nicht vorliegt.

Im Nordpazifik besteht bereits seit 1987 eine Zusammenarbeit zwischen den USA und der UdSSR/GUS. Für die gemeinsame USA/GUS-Kette erfolgte die Betriebsbereitschaftserklärung 1994. Nach Rückzug der USA aus dieser Kette übernahm Japan Ende 1994 die Aktivitäten.

Der Grund für den überraschenden Ausbau bzw. Erhalt des LORAN-Netzes war damals die Erkenntnis der Staaten, daß die Verkehrssicherungspflicht in den eigenen Gewässern nur durch ein zu GPS redundantes, weitgehend störungssicheres, nicht militärisches Navigationssystem zu gewährleisten sei.

Unabhängigkeit von GPS

Für die EU war es nicht zu akzeptieren, daß zukünftig alle europäischen, kritischen Transportaktivitäten und zeitkritische Systeme, wie z.B. Mobilfunk, Stromversorgung allein von GPS abhängig wären. ESA, EUROCONTROL und EU Kommission bildeten bereits im März 1998 eine High Level Group (HLG) für letztlich erfolglose Verhandlungen mit den USA über eine europäische Beteiligung und Kontrolle bei GPS.

Am 17. Juni 1999 fiel im EU-Ministerrat die Entscheidung für GNSS-2, genannt GALILEO. Damit war die Definitions-Phase für GALILEO genehmigt. Erst am 26. März 2002 fiel die endgültige Entscheidung, 12 Monate später hatten sich dann endlich auch Deutschland und Italien geeinigt. Zum Ärger der USA unterzeichnete China eine Absichtserklärung, sich mit € 200 Mio. zu beteiligen. Es war dann allerdings verärgert, daß ihm der Zugang zum verschlüsselten Bereich versperrt bleiben sollte. Auch mit Indien, der Ukraine und Marokko wurden Abkommen geschlossen. Daneben hatten Kanada, Israel und die GUS Interesse an GALILEO bekundet.

Die Verhandlungen über eine 20 Jahre währende Betreiberkonzession für das private Firmenkonzortium zogen sich hin bis sie 2007 endgültig platzten. Den geäußerten Befürchtungen, daß Indien (Ideen, Software) und China (Hardware) die großen Gewinner von Galileo sein könnten, trat die EU-Kommission mit der Veröffentlichung (08. Dez. 2006) eines Grünbuches entgegen.

Am 30. Okt. 2000 startete China für Testzwecke seinen ersten Navigations-Satelliten. Es soll ein GPS ähnliches System aufgebaut werden, vorrangig für Landnavigation (Straße, Schiene).

Inzwischen will auch Indien ein regionales Sat.-Nav. System (Indian Regional Navigation Satellite System, IRNSS) mit 7 Satelliten aufbauen. Es sollte 2011/12 verfügbar sein.

GALILEO

Das System soll zu GPS kompatibel sein und es wird wie dieses aus Steuermitteln finanziert. Die

Public Private Partnership, PPP war eine Illusion. Infolge der mehrjährigen Verzögerung startet GALILEO jetzt zu der sehr ungünstigen Zeit steigender Sonnenaktivität.

Vorgesehen sind für das System 27 plus 3 Reservesatelliten auf 3 Bahnen in 23.616km Höhe. Die Bahnen besitzen eine Neigung gegen den Äquator von 56° (GPS: 55°, ursprüngl. Planung 65° und 8 Sat auf 3 Bahnen) und werden jeweils mit 10 Satelliten besetzt. Die Umlaufzeit beträgt 14h (GPS: 12h). Die Anfangskonstellation wird 18 Satelliten umfassen, 14 bei OHB bestellte, 1. Start 2012 und letzte Lieferung 2014 sowie 4 Erprobungssatelliten (Inorbit Validation Satellites (IOV), Start 21.10.2011 2 Sat. (ausgelegt für OS, PRS), Sommer 2012 die anderen 2 Satelliten). 2014/15 sollen sie für die Navigation zur Verfügung stehen (IOC). Darüber hinaus ist die Finanzierung weiterhin ungeklärt (European Navigation Conference, Nov. 2011, G. Ueland, Galileo Service), schon Edgar Thielmann, EU Sat. Nav. (Application, Security, InternationalAspects) war auf der ENC/GNSS 2010 wenig optimistisch, daß FOC mit 30 Satelliten für 2016/17 erreicht wird.

Das Meßprinzip bei GALILEO entspricht dem von GPS, es werden die Entfernungen zu den sichtbaren Satelliten gemessen (Ranging Codes). Es sind drei GALILEO-Kontrollzentren (De., Ital., Span.) vorgesehen. Zusätzlich wird es noch örtliche Zentren geben, die befugt sein werden, ermittelte Integritätsinformationen zu den Satelliten zu übertragen. So soll sichergestellt werden, daß im fertigen System immer von mindestens 2 Satelliten, höher als 25° über dem Horizont stehend, aktuelle Integritätsinformationen zu empfangen sind.

Wie bei GPS arbeiten alle Satelliten auf den gleichen Frequenzen, die Unterscheidung erfolgt auch hier anhand des für jeden Satelliten spezifischen Codes.

Von GALILEO sollen folgende Dienste angeboten werden:

SAR-Dienst (ca. 2018) Er soll es erstmals zulassen, daß der Alarmauslösende eine Bestätigung seines Alarms erhält.

Auf Druck Frankreichs wurde das unsichere Cospas-Sarsat vorgesehen. Die deutsche Entwicklung der Signalstruktur der INMARSAT-Seenotboje einschließlich der Erdefunkstelle in Perth, Australien, wurde mit erheblichen deutschen Steuermitteln unterstützt aber nicht intensiv vertreten. Inmarsat schaltete das Seenotsystem 2006 ab.

Open Service (OS) (ca. 2015) Er kann von jedermann kostenlos genutzt werden. Es sollen 6(!) unterschiedliche, unverschlüsselte Signale, davon 3 ohne Daten als Ranging Codes (Meßsignale), auf 3 Trägerfrequenzen (E5a/1176,45MHz, E5b/1207,14MHz, und E2-L1-E1/1575,42MHz) verfügbar sein. Dieser Dienst ist vergleichbar mit dem zukünftigen, modernisierten GPS mit einem dritten Signal L5 für zivile Anwender (Block IIF und Block III Satelliten). GALILEO wird nicht genauer sein als das zukünftige GPS.

Commercial Service (CS) (erste Tests 2015, Einführung zweifelhaft) Bei ihm erfolgt der Zugang über einen Service Provider, d.h. es ist eine Anmeldung und Bezahlung Voraussetzung. Als Gegenleistung stehen 2 zusätzliche, verschlüsselte Signale mit Ranging Code und Daten auf einer weiteren Trägerfrequenz (E6/1278,75MHz) zur Verfügung. Eine klare Aussage zur System-Garantie gibt es immer noch nicht.

Safety of Life Service (SoL) (erste Tests 2015, Verzögerung wegen Problemen mit chinesischen Sat.-Signalen) Er ist ebenfalls kostenpflichtig. Er benutzt 4 Signale und erhält Zugriff auf die Integritätsinformationen. Dieser zertifizierte Dienst soll mit zertifizierten Zweifrequenz-Anlagen arbeiten. Integrität wird sich kostenlos mathematisch aber auch aus den dann verfügbaren mindestens 60 Satelliten (GPS, GALILEO, GLONASS) ermitteln lassen.

Public Regulated Service (PRS) (ca. 2015) Er arbeitet mit 2 verschlüsselten Signalen auf zwei verschiedenen Frequenzen (E6, E2-L1-E1). Dieser Dienst ist hinsichtlich Zugang und Anwendung bedingt vergleichbar mit dem jetzigen verschlüsselten, militärischen Anteil bei GPS (PPS mit P-, Y- und M-Code). PRS ist zukünftig auch für zivile Anwendungen vorgesehen, bislang war der Hauptinteressent das französische Militär. Den zivilen Nutzerkreis dürfen die einzelnen Staaten bestimmen, Unklarheit besteht jedoch hinsichtlich einer grenzüberschreitenden Nutzung.

PRS war die Ursache einer Verstimmung zwischen der EU und den USA. Der Mißbrauch der Satelliten-Navigationssysteme kann eine Bedrohung der nationalen Sicherheit bedeuten. Eine typische Maßnahme dagegen ist das Vorhalten von Möglichkeit, um in Krisensituationen die als gefährlich angesehenen Signale (primär die offenen, zivil genutzten Signale) zu beeinflussen.

Im Rahmen der Modernisierung von GPS führt die USA ein neues, verschlüsseltes militärisches Signal (M-Code) ein. Der erste Satellit mit M-Code wurde 2005 gestartet. Hierfür ist aber, wie für den Public Regulated Service, das Signalband E2-L1-E1 vorgesehen. Die USA könnten im Krisenfall zum eigenen Schutz zwar örtlich die zivil genutzten Teile des Bandes stören, den für sie dann ebenfalls gefährlichen PRS-Teil von GALILEO könnten sie hingegen unter Gewährleistung der Sicherheit des eigenen M-Code nicht stören.

Am 26. Juni 2004 (Dublin) kamen USA und EU dann u.a. überein, daß

--- PRS und M-Code getrennt werden,

--- zukünftig die zivil genutzten Signale von GPS und GALILEO eine einheitliche Signalstruktur erhalten,

--- die unterschiedlichen geodätischen Bezüge und die Zeitsysteme interoperabel sein sollen.

Damit schienen US Sicherheitsbedenken ausgeräumt und die Voraussetzungen für ein echtes Kombinationssystem GPS/GALILEO geschaffen. Inzwischen steht jedoch eine erneute Drohung der USA im Raum. Die EU sieht für GALILEO als rein zivilem System im Konfliktfall keine Signalveränderung oder –abschaltung zur Nutzungseinschränkung vor. Dies soll selbst dann gelten, wenn GALILEO in einem Krieg gegen die USA genutzt werden sollte. Die USA wollen in solchem Fall, insbesondere wenn China am Konflikt beteiligt sein sollte, GALILEO nicht nur reversibel stören sondern auch irreversibel (Zerstörung der Satelliten).

Aus dem DoD wurden darüber hinaus aber auch Befürchtungen laut, daß GPS ein sehr kostspieliges, nur noch militärisch genutztes System werden könnte, wenn GALILEO in Betrieb sei und die GPS-Mängel nicht beseitigt würden.

Das GALILEO-Kontrollzentrum wurde in Oberpfaffenhofen aufgebaut.

Um GALILEO benutzen zu können, bedarf es selbstverständlich neuer Navigationsanlagen. Für den Sportbootbereich genügt eine Einfrequenzanlage, die lediglich die offenen Signale von GPS und GALILEO auf dem Band E2-L1-E1 verarbeiten kann und möglichst geeignet sein sollte, mangelbehaftete Signale zu ignorieren (Integrität). Mehrfrequenzanlagen ergeben unter anderem zwar bessere Positionsgenauigkeiten, die aber von keiner Seekarte unterstützt werden können. Schon die mit heutigen GPS-Anlagen erreichten Genauigkeiten lassen sich in der Seekarte kaum noch nutzen. Für die Entwicklung und Erprobung von GALILEO-Anlagen wurde bei Berchtesgaden ein Testfeld (GATE) eingerichtet. Es werden simulierte GALILEO-Signale von Sendern auf 6 angrenzenden Bergen ausgestrahlt.

BEIDOU oder COMPASS

Das geplante chinesische Satelliten-Navigationssystem soll 5 geostationäre (GEO) und 27 (MEO) verteilt auf 6 Bahnebenen in ca. 25.000 km Höhe umlaufende Satelliten umfassen. Ein erster MEO-Satellit, gestartet am 13. Apr. 2007, läuft in ca. 27.900 km um. Seit 2003 sind bereits 6 GEO-Satelliten gestartet worden. Die Abdeckung Chinas, eigentlich bereits für 2008 (Olympiade) vorgesehen, wurde 2011 erreicht, z. Zt. nutzbar sind 5 GEO, 3 ISGO (stark elliptische GEO-Bahn) und 1 MEO. Für 2020 ist die volle, weltweite Betriebsbereitschaft vorgesehen.

Es sollen zehn Dienste angeboten werden, fünf kommerzielle und fünf abgesicherte. Der offene Service soll einen Fehler von $\pm 10\text{m}$ aufweisen.

China ist bereit mit anderen Staaten beim Aufbau des Systems zu kooperieren. Über Probleme, vergleichbar denen, die es bei GALILEO mit PRS gab, wird mit den USA verhandelt. Nach den

bisherigen Kenntnissen sollen die Frequenzen a) 1575,42MHz, b) 1191,79MHz und c) 1268,52MHz genutzt werden. Und zwar für den Open Service (OS) a und b und für den Autorisierten Service (AS) a und c. COMPASS ist mit GALILEO nicht kompatibel. Zwischen der EU und China bestehen erhebliche Dissonanzen. Sie wirkten sich bis zur European Navigation Conference, (ENC/GNSS, Okt.2010, ca. 300 Teiln. aus 28 Nationen) aus. Dort konnten Galileo-Vorträge wegen zurückgezogener Vortragserlaubnis (DLR, ESA) nicht gehalten werden. Während GALILEO sich durch lange Diskussionen und Streit inzwischen mindestens 5 Jahre verzögert, wird an COMPASS und GLONASS fleißig gearbeitet.

Absicherung der Satelliten-Navigation

GPS ebenso wie das zukünftige GALILEO wird in seiner Funktionsfähigkeit durch unabsichtliche (wie z.B.: unerkannte Satelliten-Signalmängel, Ausbreitungsanomalien z.B. durch Sonnenaktivität, Reflexionen und Abschattungen, Gefahr droht auch von Ultra-Wideband-Networks) aber auch absichtliche Störungen vermindert oder sogar verfälscht. Ein zusätzliches Störproblem haben sich die USA mit der FCC-Genehmigung eines Mobilfunk-Netzes für LightSquared eingehandelt. Es wurde das für mobile Satellitenfunk-Dienste reservierte Frequenzband, direkt angrenzend an das Sat.-Nav.-Band für terrestrische Nutzung geöffnet. LightSquared beabsichtigt dafür ca. 40.000 Basisstationen mit bis zu 15 kW Sendeleistung zu errichten. Im Abstand bis zu 100km müsste dann je nach GPS-Anlage mit erheblichen Verwendungseinschränkungen gerechnet werden. Auf der ENC 2011, London, wurden bereits Befürchtungen geäußert, dass auch Europa ähnliches drohen könnte; Mobilfunk bringt Steuereinnahmen, Sat.-Nav. hingegen kostet. Am 31. Dez. 2011 unterzeichnete der US Präsident ein Gesetz, dass es dem FCC verbietet Dienste zu erlauben, die in irgendeiner Art die militärische Nutzung von GPS beeinflussen. Als Hintertür verblieb die Forderung, dass seitens des Militärs bei einer Störung die Kosten ihrer Beseitigung bei den eigenen Anlagen zu ermitteln sind.

Unerwartet starke Sonnenaktivität am 6. Dez. 2006 führte z.B. über ca. 30 Minuten zum totalen GPS-Ausfall und am 24. Sept. 2011 örtlich zu zehnminütiger Störung 8 Minuten nach Sonnenaktivität (Burst) jeweils im Bereich der sonnenseitigen Erde. In die Kategorie absichtlicher Beeinflussungen fallen neben Manipulationen im Konfliktfall aber auch Störungen durch Terroristen, Hacker oder andere kriminelle Handlungen. Eine umfassende Verwendung eines Redundanz-Systems könnte den Störanreiz vermindern. Die Störtechniken sind bekannt, entsprechende Einrichtungen auf dem Markt (schon 1997 wurde für \$3.500 auf der Moskauer Luftfahrtschau ein GPS-Störsender angeboten). Sie sind aber auch leicht zu bauen, Anleitungen bietet das Internet. Bauteile für ca. \$500 genügen für eine Störreichweite von ca. 200 km. Damit ließe sich die GPS-Nutzung über die Breite vieler Meeresengen, beispielsweise des englischen Kanals oder der Elbmündung, zum Erliegen bringen. D.h. es müßte mit plötzlichem Ausfall oder weit schlimmer mit Verfälschung der GPS Position, der Elektronischen Seekarte (ECDIS), des Automatic Identification System (AIS), Bahnführungsanlagen und Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) auf dem eigenen und allen benachbarten Schiffen gerechnet werden. Selbst geringe Störleistungen können nachgewiesenermaßen an Bord zu erheblichen nicht alarmbelegten Positionsfehlern führen, mit entsprechenden Auswirkungen auf integrierte Systeme.

Die zwar kostenintensive Erzeugung eines GPS-ähnlichen Signals würde die Störreichweite bei gleicher Leistung noch um etwa den Faktor 10 erhöhen.

Je umfangreicher die Anwendungen und Abhängigkeiten von GPS werden, desto größer wird auch der Anreiz für absichtliche Störaktivitäten (vergl. Internet-Hacker). Die weiträumigen Stromversorgungsstörungen im Jahre 2003 (14.Aug. NE-USA, 12.Aug. London, 23.Sept. Dänemark/Südschweden, 28.Sept. Italien) hatten ihre Ursache jedoch nicht in einer GPS-Störung. Aber die Stromverteilung, auch in Deutschland, stützt sich weitgehend auf die Zeitinformationen von GPS. Der 11.Sept.2001 hat gezeigt, daß alles was geschehen kann auch geschieht. In den USA gehö-

ren daher die Nutzer von Zeit-Informationen auch zu den stärksten Verfechtern einer GPS-Redundanz.

Selbst der US Senat forderte im Rahmen der Haushaltsberatungen vom Heimatschutz-Ministerium (DHS, USCG) einen Bericht zur GPS-Redundanz an, der aber noch nicht vorliegt.

Differential-GPS (DGPS, Oberbegriffe: Ground-Based Augmentation System, GBAS aber auch Local-Area Augmentation System, LAAS) war der erste Ansatz zur partiellen Absicherung von GPS. Von einer Referenz-Station, werden international standardisierte GPS-Korrekturen ermittelt und ausgesendet. Die Verwendung der Korrekturen in der Bordanlage ergibt in einem begrenzten Gebiet um die Referenz-Station einen auf etwa $\pm 3\text{m}$ verminderten Fehler. Viel wichtiger ist aber, daß sich die Integrität von GPS verbessert, d.h. es wird rechtzeitig vor an Bord nicht erkennbaren Mängeln der Satelliten-Signale gewarnt. Der geringe Positionsfehler von $\pm 3\text{m}$ ist für die Navigation ohnehin nicht erforderlich, schon jetzt erfordern $\pm 10\text{m}$ erhöhte Aufmerksamkeit, da viele Seekarten diese Genauigkeit nicht unterstützen.

Inzwischen gibt es in Europa ca. 160 DGPS-Sender, sie nutzen die ehemaligen Funkfeuerfrequenzen. Die Nutzung ist kostenlos. Selbst eine Abdeckung der gesamten USA mit DGPS (Nationwide DGPS, NDGPS) besteht inzwischen. Auch in Deutschland entstanden 5 zusätzlicher DGPS-Stationen (Zeven/Niedersachsen, Koblenz, Iffezheim/Baden-Württemberg, Bad Abbach/Bayern, Mauken/Oberelbe/Sachsen-Anhalt). Sie sollen die Binnengewässer abdecken, mit dem Nebeneffekt, daß sie das gesamte Bundesgebiet versorgen.

Es gibt daneben mindestens ein privates, gebührenpflichtiges globales DGPS (GreenStar) der Firma John Deere.

Ein weiterer Ansatz waren satellitengestützte Differential-Systeme (Space-Based Augmentation System, SBAS), sie unterscheiden sich in ihrer Funktion von den erdgebundenen DGPS (GBAS). Beiden gemeinsam ist jedoch, daß sie bei Ausfall von GPS nutzlos sind.

Nach erfolgreichen Versuchen mit einem geostationären INMARSAT-Nachrichten-Satelliten, werden jetzt von 3 GEO-Satelliten (15,5°W, PRN120 / 21,5°E, PRN124 / 25°E, PRN126) Korrekturen für GPS und Warnungen bei Störungen verbreitet. Dieses als GNSS-1 oder EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) bezeichnete System erlangte am 28. Juli 2005 die Initial Operational Capability (IOC), und am 1. Okt. 2009 erfolgte die Freigabe des Open Service (OS). Es deckt Europa, Atlantischen Ozean, teilweise Nord-Afrika und Mittleren Osten ab. Das System ist dem amerikanischen Wide Area Augmentation System, WAAS (Satelliten auf 133,1°W, PRN135 / 107,3°W, PRN138 und Sat. im Test 98°W, PRN 133) vergleichbar und sollte, wie dieses, primär der Luftfahrt dienen. Inzwischen wird es aber auch erfolgreich in anderen Verkehrsbereichen angeboten. Auch für den Sportboot-Bereich gibt es entsprechende Anlagen.

Ähnliche Entwicklungen werden auch von Kanada (CWAAS), China (Satellite Navigation Augmentation System, SNAS) und Indien (GAGAN, 1 Sat. 55°E, PRN127 versuchsweise; Start eines eigenen Sat. 2010 mißlungen) betrieben. Auch Rußland kündigte den Aufbau eines Systems an „Glonass System of Differential Correction and Monitoring“ (SDCM). Der erste Satellit (Loutch-5A) wurde am 11. Dez. 2011 gestartet. Für Rußland soll sich der GLONASS-Fehler auf 1-1,5m vermindern; auch die GPS-Signale sollen beobachtet werden.

Die Struktur der abgestrahlten Signale wurde genau wie bei DGPS international genormt. Es sind auch hier Referenzstationen beteiligt und zwar eine Vielzahl. Die Verteilung der Informationen an die Nutzer erfolgt über die geostationären Satelliten. Die Bezeichnungen für die beteiligten Einrichtungen bei den verschiedenen SBAS sind nicht einheitlich, obwohl ihre Aufgaben identisch sind.

Nachfolgend werden zur Erklärung die Bezeichnungen von EGNOS benutzt.

Über das Versorgungsgebiet sind zahlreiche Reference and Integrity Monitoring Stations (RIMS) verteilt. Von ihnen werden die Entfernungsfehler zu den jeweils sichtbaren Satelliten ermittelt. Sie werden jedoch nicht als Korrekturen direkt an die Nutzer verteilt. Statt dessen werden sie in einer zentralen Kontrollstation, Mission Control Center (MCC), verarbeitet. Davon gibt es ebenfalls zur Sicherheit mehrere, es ist jedoch nur jeweils eine aktiv. Die verschiedenen Fehleranteile des Satelliten-Signals arbeitet man dort heraus. Uhren-, Bahndatenfehler können dabei dem jeweiligen Satelliten zugeordnet werden, während der Ionosphären-Ausbreitungsfehler ortsabhängig ist. Er wird für die Punkte eines Gitternetzes berechnet, dessen Größe sich aus der geographischen Verteilung der RIMS ergibt. Dieses mit Werten besetzte Netz bestimmt das Versorgungsgebiet. Ein weltweit gültiges Gitternetz wurde bereits definiert, die Punktabstände betragen zwischen 55°N und 55°S jeweils 5° in Breite und Länge, in höheren Breiten bis 75° erhöht sich der Abstand auf 10°. Abhängig von der Geschwindigkeit mit der sich die verschiedenen Fehler ändern, erfolgt die Aufdatierung der Korrekturen alle 1 bis 5 Minuten. Sie werden von Erdestationen, Navigation Land Earth Station (NLES, je 2 für jeden GEO-Sat.), zum geostationären Satelliten übertragen.

Alle GEO-Satelliten geben die Informationen in einem genormten Datentelegramm an den Nutzer weiter. Er soll aus Sicherheitsgründen jeweils die Signale zweier GEO-Satelliten empfangen können. Die GPS-Anlage des Nutzers korrigiert dann Uhren-, Bahndatenfehler der benutzten GPS-Satelliten direkt. Die empfangenen Ausbreitungskorrekturen für die zur eigenen Position nächstgelegenen Gitternetzpunkte werden gemittelt. Das Ergebnis dient dann dazu, das im GPS-Empfänger benutzte Ionosphären-Ausbreitungsmodell zu verbessern. Ohne diese Korrektur verwendet der GPS-Empfänger ein globales, von den GPS-Satelliten etwa wöchentlich aufdatiertes Ausbreitungsmodell, das keine zeitlich und/oder örtlich begrenzt auftretenden Unregelmäßigkeiten berücksichtigen kann, wie sie beispielsweise Sonnenaktivitäten, sie steigt augenblicklich wieder stark an, erzeugen. Der Gewinn des SBAS-Korrekturverfahrens ist ein auf etwa ± 3 m verminderter Standortfehler. Da von den Referenzstationen die GPS-Satelliten auch auf Signalmängel beobachtet werden, kann gegebenenfalls innerhalb von 6 s (Luftfahrtforderung) eine entsprechende Warnung der Nutzer erfolgen.

Alle Informationen werden von den GEO-Satelliten auf der gleichen Frequenz (1575,42 MHz) ausgestrahlt, die auch für das zivil nutzbare GPS-Signal L1 verwandt wird. Ein zusätzlicher Empfänger, wie er beim bodengestützten DGPS erforderlich ist, entfällt daher. Hinzu kommt, daß auch die Struktur des Signals ähnlich der des GPS-Signals gewählt wurde. Dadurch können die geostationären Satelliten wie zusätzliche „GPS-Satelliten“ auch für die Standortbestimmung mit herangezogen werden. Wegen dieser Zusatzfunktion werden sie von den Referenzstationen wie die GPS-Satelliten beobachtet und ihre eventuell fehlerhaften Daten korrigiert bzw. ihre Funktion „GPS-Satellit“ abgeschaltet, ohne daß davon die Übertragung der Korrekturdaten und Warnungen beeinflusst sein muß. Die GEO-Satelliten unterliegen darüber hinaus aber ähnlichen Beschränkungen wie die GPS-Satelliten, ihre Signale können abgeschattet werden.

Die GPS-Ergänzung durch SBAS hat drei Aspekte:

- 1) Integritätsgewinn durch schnelle Warnung bei vom Nutzer nicht erkennbaren Signalmängeln einzelner GPS-Satelliten,
- 2) Verminderung des Standortfehlers durch Verbesserung des Ausbreitungsmodells,
- 3) Erhöhung der Satellitenanzahl für die Standortbestimmung.

WAAS besitzt seit dem 10. Juli 2003 für die Luftfahrt den Status Initial Operational Capability (IOC). Für bodengebundene Anwendungen kann es voll benutzt werden.

Es gibt daneben noch einige firmeneigene DGPS-Netze z.B. von Thales, Racal, Fugro, die allerdings nur gegen eine Gebühr genutzt werden können. Weitere Stützungsverfahren mittels Satelliten sind angedacht.

Es darf allerdings nicht übersehen werden, daß im Konfliktfall auch die Wirksamkeit der Differential-Korrekturen durch Manipulationen an GPS beeinträchtigt werden kann! Bei Ausfall von GPS ist jede Form eines Differential-GPS ohnehin völlig nutzlos. DGPS bietet auch keinen Schutz gegen örtliche Störsender. Es müßte also immer angestrebt werden, ein zweites, unabhängiges Navigations-Verfahren als Redundanz heranzuziehen.

Ein anderes Stützungsverfahren plant Japan begrenzt auf sein Territorium. Im Rahmen des Multi-Function Transport Satellite (MTSAT, 2 GEO-Sat. 140°E, PRN129 und 145°E, PRN137, Nutzungsfreigabe Sept. 07) wurden im April 2003 \$461 Mio. (insgesamt \$1,6 Milliarden für 12 Jahre) für die Entwicklung eines Quasi Zenith Satellite System (QZSS) genehmigt. Mit den vorgesehenen 3 Satelliten, die zu GPS identische Signale (L1, L2C, L5) senden werden, soll die Positionsermittlung in Tälern und städtischen Häuserschluchten verbessert werden. Der erste MICHIBIKI (Guide)-Satellit (QZS-1, 135°E, PRN 183) wurde am 11. Sept. 2010 gestartet, ist aber noch im Testmode.

Als redundantes, terrestrisches Verfahren zu GPS, auch international gefordert von IMO (eNavigationssysteme should be resilient ... robust, reliable and dependable. Requirements for redundancy, particularly in relation to position fixing systems should be considered, MSC 85/26, Annex 20; eNavigationssysteme steht für enhanced Nav.-Systeme), IALA, ICAO kristallisiert sich einmodifiziertes LORAN heraus, zumal es Genauigkeiten vergleichbar GPS erreicht und nur schwer zu stören ist. Die nordeuropäischen Ketten werden auf Wunsch der EU z. Zt. vorsorglich noch weiter betrieben. Auch aus der GUS wurde bekannt, daß dort die LORAN-Ketten neben dem eigenen Satelliten-Navigationsverfahren GLONASS in Betrieb bleiben sollen.

Italien hat seine beiden Stationen der ehemaligen Mittelmeer-Kette konserviert. Die Stationen in Spanien und der Türkei existieren nicht mehr.

In England will die General Lighthouse Association (GLA) die Zahl der Leuchttfeuer vermindern. Sorgen bereitet ihr aber das übermäßige Vertrauen der Nutzer in GPS. Es zeigte sich, daß LORAN das Potential als notwendiges Backup für GPS besitzt, allerdings modifiziert als eLORAN. Es wurde ein 15 Jahresvertrag für Entwicklung, Aufbau und Betrieb an VT Communication für eine Station in Cumbria vergeben. Diese eLORAN-Station hat ihren Betrieb bereits aufgenommen. England ist jetzt bestrebt ein europäisches eLORAN-System aufzubauen. An Standards für eLORAN wird international (RTCM, usw.) gearbeitet.

In Irland wird nach jahrelangen Protesten von Umweltverbänden eine eLORAN-Station auf einem nicht mehr benötigten Senderstandort errichtet.

Frankreich will LORAN unbedingt bis mindestens 2015 erhalten und modifiziert es. Es hat Pläne für zwei weitere Stationen, Straßburg bzw. Südfrankreich. Außerdem soll die Modernisierung der norditalienischen Station unterstützt werden.

Österreich hat klar erklärt, an LORAN als Redundanz-System für die Satellitensysteme interessiert zu sein. Besonders betont werden dabei die niedrigen Kosten und die erprobte Technik. Ähnliches gilt für die Tschechische Republik, sie hat mit Österreich schon über eine neue Station bei Prag diskutiert. In Deutschland wird der Sylt-Sender auf englische Kosten weiterbetrieben.

Eine Kette in Saudi-Arabien, 4 Stationen werden modifiziert, deckt das östliche Mittelmeer, das Rote Meer, den Persischen Golf, den Golf von Aden, den Golf von Oman und einen Teil des arabischen Meeres ab. China nahm im Frühjahr 1994 ein LORAN-Netz mit 6 Sender in Betrieb. Auch Indien betreibt seit 1994 zwei Ketten bei Bombay und Kalkutta. Es plant 20 neue Stationen, um einen möglichen Sat.Nav.-Ausfall bis zu 60 Tagen zu überbrücken. In Südkorea wurden 2 Stationen einer ehemaligen Kette der US Luftwaffe modernisiert und es sind weitere Stationen geplant. Neben diesen spezifischen Aktivitäten bildete sich 1992 in Ostasien eine LORAN-Gruppe, vergleichbar NELS, mit den Mitgliedern China, Japan, Korea und Rußland (FERNs, Far East Radio Navigation Service).

Das angestrebte enhanced LORAN (eLORAN) weist gegenüber dem herkömmlichen LORAN folgende Unterschiede auf:

Es besitzt einen Datenkanal über den Korrekturen, Warnungen und Zuverlässigkeitsinformationen übertragen werden. Zu diesen Daten gehören beispielsweise Stationskenner, Almanach der Sender, Positionen der Monitorstationen für Differential-LORAN, Diff. des LORAN-Zeitschemas zu UTC (Anzahl Schaltsek.), Warnungen bei anormalen Signal-Ausbreitungsbedingungen (z.B. auch verkürzte Skywave-Wege), Warnung bei Signalmängeln, Korrekturen für Diff.-LORAN und Diff.-GNSS. Alle Sender werden auf eine von GNSS unabhängige UTC-Quelle synchronisiert, ähnlich wie es bei GPS der Fall ist. Wenn ein eLORAN-Signale außerhalb der Toleranz liegt wird die betreffende Station sofort abgeschaltet. Die eLORAN-Stationen sollen weiterhin von vorhandenen Empfangsanlagen genutzt werden können, allerdings ohne die Verbesserungen, d.h. der bekannte Fehler der Hyperbel-Navigation von ca. 0,25sm bleibt bei diesen herkömmlichen LORAN-Anlagen erhalten.

Erstmals waren im nordeuropäischen LORAN-Netz (NELS) alle 4 Ketten untereinander synchronisiert, wie es auch bei eLORAN geschieht. Inzwischen modernisierten auch die USA ihre Ketten mit dem gleichen Ziel. Damit wird die strenge Verbindung eines Hauptsenders mit seinen 3 bis 4 Nebensendern bei der Navigationslösung (Hyperbel-Verfahren) weitgehend aufgehoben; es kann eine beliebige Kombination der verschiedenen Sender für die Positionsbestimmung herangezogen werden. Da damit die LORAN-Signale unter sich, wie die GPS-Signale synchronisiert sind, können Navigationsanlagen gebaut werden, die beide Verfahren gleichzeitig nutzen. Jeder LORAN-Sender wird hierbei als zusätzlicher, "Pseudo"-GPS-Satellit angesehen. Diese Methode gestattet es, Verfahrensmängel sowohl bei LORAN als auch bei GPS zu erkennen, dies wäre bei Nutzung nur eines Verfahrens nicht möglich.

Die amerikanische eLORAN-Entwicklung wurde ausgelöst durch die Techn. Universität Delft. Sie entwickelte eine Methode, das LORAN-Signal (100 kHz) mit DGPS-Korrekturen zu modulieren. Dies als EUROFIX bezeichnete Verfahren wurde auf den Stationen Sylt, Bø, Værlandet (Norw.) und Lessay (Frankr.) installiert. Die Korrekturen ergaben GPS-Positionsfehler von $\pm 3\text{m}$ (95%) in einer Entfernung von 400km; auch in Gebirgstälern (Alpen, 1000km Entfernung) und Häuserschluchten wurde die volle Funktionsfähigkeit nachgewiesen. Bei vollständigem Ausbau wären in vielen Gebieten mehrere EUROFIX-Stationen zu empfangen. Dadurch können zusätzlich statistische Methoden zur Fehlererkennung eingesetzt werden, ähnlich wie es bei GPS mit mehr als 4 brauchbaren GPS-Satelliten möglich ist. Zusätzlich könnten in Nordeuropa die DGPS-Stationen eingespart werden. In den USA und Rußland durchgeführte Untersuchungen ergaben dieselben guten Ergebnisse.

Parallel zu den ausgestrahlten EUROFIX-Signalen wurde auch die Entwicklung preiswerter Empfängerbausteine gefördert. Die EU stellte Mittel im Programm "Integrated Ship Control" bereit. Das GAUSS-Komitee (Global Augmentation for Satellite Systems) erarbeitete unter deutscher Leitung mit namhaften internationalen Fachleuten die IMO Spezifikationen für Frequenznutzung und integrierte Empfangsanlagen.

Mit EUROFIX ebenso wie eLORAN wird ein sehr wichtiger Integritätsgewinn erzielt. LORAN besitzt, wie jedes Navigationsverfahren, systematische Fehler, hier bedingt durch unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Die Korrektur der Signalausbreitung über See vom Sender zum Empfänger wird durch den gut erfaßbaren Secondary Phase Faktor (SF) berücksichtigt. Sind jedoch vom Signal auch Landgebiete zu überbrücken, über denen die Ausbreitungsgeschwindigkeiten sehr unterschiedlich sind, so bedarf die Positionsbestimmung einer weiteren Korrektur, dem Additional Secondary Phase Factor (ASF). Dieser zeigt eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Empfangsort. Mit EUROFIX/GPS läßt sich erstmals jederzeit und laufend die Gesamtkorrektur ermitteln

(SF zuzüglich ASF), quasi als Differenz zwischen den Positionen aus dem reinen LORAN und dem EUROFIX-DGPS. LORAN, auf diese Weise laufend kalibriert, weist bei Ausfall von GPS/DGPS einen Fehler von ca. 20m auf. Mit diesem Fehler ist es hervorragend als kurzzeitige Redundanz zu GPS geeignet. Für die Absicherung der internationalen Forderungen für Hafeneinfahrten kann Differential-eLORAN eingesetzt werden. UK will bis 2013 7 Ostküstenhäfen und bis 2018 alle wichtigen Häfen mit DeLORAN ausstatten.

LORAN hat als Stand-Alone-System, Hyperbel-System, wie es vor mehr als 20 Jahren genutzt wurde, allerdings keine Bedeutung mehr. Im zukünftigen Navigations-Verfahrens-Mix wird Global Navigation Satellite System (GNSS) die primäre Komponente sein.

Es ist völlig unverständlich wie in Kenntnis, daß bei Störung oder Ausfall von GPS weite Bereiche der Infrastruktur der Industriestaaten und die modernen Navigationsmittel der Schifffahrt erheblich eingeschränkt oder gar unbrauchbar wären, auf eine Redundanz zu GPS mit recht fadenscheinigen Gründen verzichtet werden kann. Verzicht auf eLORAN erspart den USA vorgeblich \$ 190 Mio. über 5 Jahre, die nicht berücksichtigten Kosten für Abriß und Geländerenaturierung dürften um ein mehrfaches höher sein. Außerdem wurden bereits 20 von 24 LORAN-Stationen modernisiert und für eLORAN-Einrichtung vorbereitet, 5 Stationen sind schon eLORAN-fähig. Trotz Abschaltung bestehen die Stationen aber offenbar weiter. Inzwischen wird auch wieder über Redundanz zu GPS diskutiert und Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gefördert. Das Stichwort lautet aber nicht mehr LORAN sonder LOW FREQUENCY ohne dass sich das vorgesehene, geschützte Frequenzband 90 – 110kHz geändert hätte.

Da in naher Zukunft Satelliten-Verfahren nicht sämtliche Anforderungen der Nutzer erfüllen können, sollte ein LOW FREQUENCY- System (eLORAN, EUROFIX oder neuerdings LF Phoenix von UrsaNav) als Stützung, insbesondere aber als Integrationsbestandteil eines robusten Navigationssystems, dienen. Die Integration sollte dabei auf der Nutzerebene, d.h. in der Navigationsanlage erfolgen. Ein Beispiel ist der Empfänger eLGPS 1110 von CrossRate Technology /UrsaNav.

Dieser Tatbestand wurde dem BMVBS (vorm. BMVBW) offenbar inzwischen ebenso wie das Gefährdungspotential bei GPS und GALILEO bewußt, warum sonst würde man Sylt ohne festen Abschalttermin weiterbetreiben lassen. Nur die Aktivitäten für Reaktionen, wie Havarie-Kommando oder Seeunfalluntersuchungsbehörde genügen nicht, so notwendig sie auch sind. Das Schicksal des europäischen LORAN-Netzes, selbst in modifizierter Form, als Ergänzung und Sicherung der Satelliten-Navigation ist aber weiterhin unsicher, wie in den USA.

In Diskussionen über LORAN wird immer wieder übersehen, daß es sowohl senderseitig als auch empfängerseitig in den letzten Jahren eine enorme Fortentwicklung gegeben hat.

Moderne LORAN-Anlagen sind genau wie GPS-Anlagen für die Signalverarbeitung aller in Sicht befindlichen Sender ausgelegt (all-in-view). EUROFIX wie eLORAN könnte ohne weiteres die Zahl der DGPS-Stationen mit den ehemaligen Funkfeuerfrequenzen reduzieren.

Verglichen mit den Geldern für die Entwicklung und den Aufbau von EGNOS (jährliche Betriebskosten € 110 Mio.) und GALILEO sind die Kosten für eine europaweite Erweiterung von LORAN und den unbemannten Betrieb, Wartungspersonal auf den Monitorstationen, ein Taschengeld.

Auch kombinierte Navigationsanlagen für GPS und GLONASS werden bereits angeboten, um Mängel des einen Verfahrens durch das zweite ausgleichen zu können. Die Methode hat ihre Brauchbarkeit bewiesen.

Ebenso wird es kombinierte GPS/GALILEO-Anlagen geben, nicht nur zur gegenseitigen Stützung sondern auch zur Verminderung des Positionsfehlers.

Es darf aber nicht verkannt werden, daß die Kombination zweier Satelliten-Verfahren, die im gleichen Frequenzbereich und mit etwa gleicher Leistung arbeiten, auch sehr einfach simultan gestört werden können, im Gegensatz z.B. zur Kombination eLORAN/GNSS.

Eine steigende Zahl nutzbarer Satelliten (GPS, Galileo zusammen ca. 60) erhöht zwar die Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung. Gleichzeitig trägt aber jeder Satellit mit seiner Sendeleistung zur Erhöhung des Umweltrauschens bei. Ab ca. 70 Satelliten könnte sich daraus ein zusätzliches Empfängerproblem ergeben (ESA, Prof. Gunther Hein).

Eine in GPS selbst begründete Sicherungsmöglichkeit stellt RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) dar. Bei einem Überangebot an nutzbaren GPS-Satelliten, augenblicklich sind bis zu 31 statt 24 aktiv, wird vom Empfänger über mathematische Methoden auf mangelbehaftete Satelliten-Signale rückgeschlossen und diese für die Positionsberechnung nicht benutzt. Sind jedoch die Signale von mehr als einem Satelliten fehlerhaft, kann es Probleme geben. Diese Technik ist für zulassungspflichtige GPS-Anlagen inzwischen vorgeschrieben. Sportboot-Anlagen sind nicht zulassungspflichtig und verfügen bisher noch nicht über diese Technik.

Fazit:

- 1) Es können zwei Zeitabschnitte unterschieden werden:
 - a) bis zur Betriebsaufnahme eines zivil kontrollierten Satelliten-Navigationssystems (GALILEO 2018?) oder -Überwachungsverfahrens
 - b) nach Betriebsaufnahme des zivilen Systems

- 2) Folgende Veränderungen sind in den Zeitabschnitten zu erwarten:
 - a) GPS kann benutzt werden, wegen fehlender Integrität sollte jedoch parallel aus Sicherheitsgründen ein redundantes Verfahren, mindestens aber GBAS oder SBAS eingesetzt werden.
Ein LOW FREQUENZ-System könnte integriert mit GPS als Redundanz zu GPS dienen.
EUROFIX / eLORAN usw. werden ausgebaut.
 - b) Ein hoffentlich international verwaltetes und betriebenes Satelliten-Navigationssystem (GNSS) oder Sat.-Nav.-Überwachungs- bzw. Ergänzungsverfahren und notwendige Redundanz wird den Betrieb anderer Funknavigationssysteme dann bei vielen aber nicht allen Anwendungen überflüssig machen.

Das Druckwerk ist als Manuskript zu betrachten. Eine Veröffentlichung im ganzen oder in Teilen bedarf, wie die Vervielfältigung auf fotomechanischem Wege, der schriftlichen Genehmigung des Verfassers.

* Mitglied: Bundesverband freier Sachverständiger, BVFS (Funknavigation Sportschiffahrt)
Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, DGON
Royal Institute of Navigation, RIN, UK
Institute of Navigation, ION, USA
International Loran Association, ILA, USA