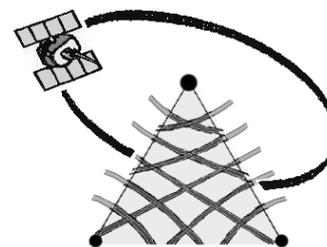


FUNKNAVIGATION ENTWICKLUNG UND ZUKUNFT

Dipl.-Ing. U. Petersen*



27. Apr. 1995, GPS für militärische Zwecke als voll einsatzfähig freigegeben (FOC).

17. Juli 1995, U.S. Verkehrsministerium erklärt GPS voll verwendungsfähig für zivile Nutzer.

18. Jan. 1996, Rußland erklärt GLONASS als voll verwendungsfähig (FOC). Der Zustand besteht nur 6 Monate.

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** (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem, GPS und/oder **G**ALILEO) stützen werde. Eine Absicherung von GNSS sei nicht erforderlich, als Backup genüßten 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.

15. Dez. 2004, Anweisung des U.S. Präsidenten NSPD-39, National Security Policy bezüglich Position, Navigation und Zeit (PNT), fordert u.a. Entwicklung und Realisierung von Redundanz zu GPS.

28. Dez. 2005, der erste Galileo-Testsatellit (GIOVE-A, **G**alileo **I**n-**O**rbital **V**alidation **E**lement) wurde gestartet, am 26. Apr. 2008 folgte GIOVE-B.

Okt. 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.

Jan. 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.

¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

² Bundesministerium für Bildung und Forschung

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. Apr. 2009, die **“GPS Civil Monitoring Performance Specification“** werden vom DoT 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 erneut als voll betriebsklar erklärt (FOC).

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

Anfang 2012, Nordkorea betreibt einen leistungsstarker Störsender, als Folge melden innerhalb von ca. 14 Tage über 1000 Flugzeuge und 250 Schiffe GPS-Ausfall.

26. Dez. 2012 China veröffentlicht für **OpenService** von BEIDOU/COMPASS die **SID** (signal-in-space dokument), damit ist diese Betriebsart öffentlich nutzbar.

12. März 2013, Erste Positionbestimmung anhand der 4 Gallileo-IOV-Satelliten, Fehler 10-15m sowohl horizontal als auch vertikal.

06. Nov. 2013, GOA veröffentlicht Report „GPS Disruptions“ mit der Klarstellung, daß die Anweisung NSPD-39 vom 15. Dez. 2004 hinsichtlich GPS-Redundanz bisher nicht erfüllt wurde.

01. April 2014, 11 Stunden **Totalausfall GLONASS** (01.04. 21:15 UTC bis 02.04. 07:30 UTC) infolge Software-Fehlers übermittelt an sämtliche Satelliten

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. Die Präsidenten-Anweisung NSPD-39, 15.Dez. 2004 fordert dies dann von den U.S. Ministerien DoT und DHS. Diese Anweisung wurde bisher nicht ausgeführt. Nach einem Report vom 04.Nov. 2010 soll das National Position, Navigation and Timing Advisory Board GPS zur kritischen Infrastruktur erklären und das DHS mit der Betreuung beauftragen. 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-System 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 ignorierend, 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 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. Autonom fahrende Autos** wären zusätzlich auch noch über Mobilfunk-Störer gefährdet

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 vergebenen 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 (P-,Y-,M-Code). 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 (SPS) für den Betrieb, nach der am 2.Mai 2000 abgeschaltete Signalverschlechterung (SA), vor. Danach übersteigt im ungestörten Zustand der Positionsfehler in 95% ($PDOP \leq 6$) 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 Satelitengeometrie) 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**, 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 4 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, 8 Satelliten aktiv, sind 12 und 9,9 Jahre Lebensdauer geplant. Aus diesen rechnerischen Lebenserwartungen könnten sich Probleme ergeben, denn es tun inzwischen 17 Satelliten mehr als 9 Jahre Dienst, davon 7 zwischen 9 und 12, 10 über 12 Jahre (Maximum 24 Jahre, PRN 32).

Es muß also jederzeit mit überraschenden Ausfällen aus der Menge der "überalterten" Satelliten gerechnet werden. Zur Absicherung laufen allerdings inzwischen 3-5 Reserve-Satelliten um.

Es sind aufgrund der vorstehenden Tatbestände einige Unsicherheiten des Global Positioning Sy-

stems unverkennbar. Die Befürchtung des GAO Berichtes, daß ab 2010 nur mit 95% Wahrscheinlichkeit noch 24 Satelliten in Betrieb seien, trat glücklicherweise bisher nicht ein. Hinzu kommen die bisher unbekannt, in der Studie des Defence Science Board aufgezeigt und in der GAO Untersuchung erneut bestätigten, erschreckenden Mängel bei Entscheidungen, Finanzierung und Pflege des Systems. Ähnliche Kommunikations- und Zuständigkeitsmängel bestehen nach GOA offenbar auch zwischen DoT und DHS bei der Redundanz für 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. Die jetzige 24 Sat.-Konstellation wurde auf eine 24+3 Konstellation optimiert, um in Tälern hohe Positionsgenauigkeit über längere Zeiträume zu erhalten.

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 begrenzt sein. Derartige Veränderungen der Positionsunsicherheit lassen sich nur erkennen, wenn ein mindestens ebenso genaues, unabhängiges Vergleichsverfahren eingesetzt wird.

GPS Modernisierung

Bereits 1995 begannen Bemühungen, das militärische Potential von GPS 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 (NSPD-39) 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) 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 und Betrieb von Ergänzungs- und Redundanz-Systemen für zivile Infrastruktur, Redundanz

- Handel: Fragen der Frequenz-Sicherung und -Beschaffung,
- Äußeres: Verbreitung von GPS als internationales Standard-Navigationsverfahren zur Vermeidung von Gefahren für die US Wirtschaft,
- Nationale Sicherheit: Fragen der Nutzung für Innere Sicherheit, Abwehr gefährlicher Nutzungen und Störungen im Inland, Koordination von Redundanz-Systemen.

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 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 ohne Redundanz weiterhin nur bedingt geeignet (z.B. Durchsteuern Kade-trinne, auch die Empfehlung des BMVBW, 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, sollen in der Master Station auf aktuelle Einflüsse für die militärischen und zivilen Verwendungsbereiche von GPS analysiert und notwendige Abwehrmaßnahmen veranlaßt werden. Auch ein DHS-Programm „Patriot Watch Interference Detection and Mitigation“ (IDA) dient diesem Zweck. Vergleichbar ist das UK-System „GAARDIAN“ der Firma Chronos Techn. Mit den jetzt 16 GPS-Monitorstationen lassen sich die 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. Mit einer Software-Anpassung an GPS III, womit die Betreuung von GPS IIA entfallen wird, soll auch die Zahl maximal zu betreuender Satelliten von jetzt 32 auf 63 erhöht werden. Der wesentliche Gewinn betrifft die militärische Anwendung. Die volle Betriebsbereitschaft wird wegen gekürzter Finanzen wohl erst 2020 vorliegen.

Mit dieser MCS und der gestiegenen Zahl der Monitorstationen dürfte sich auch für zivile Anwender die Warnzeit bei Satelliten-Störungen verkürzen. 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 empfan-gerseitig 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 nur bedingt 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, schwer bis nicht erkennbare Störungen können sich jederzeit wiederholen; lediglich ihre Dauer wird abnehmen.

Die Entscheidung der IGEB für die **Modernisierung** des **Standard Positioning Service**, SPS, fiel am 27. März 1998. Inzwischen wurde ein zweites Signal (L2C) auf der GPS-Frequenz L2/1227,60MHz eingefügt und teilweise das dritte 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 17. Aug. 2009. Der 7. IIR-M-Satellit (SV 49 / PRN 01) mußte nachträglich, wegen der Verzögerungen des IIF-Satellitenstarts, mit einem Signalgenerator für L5 ausgestattet werden, um den Frequenzanspruch bei der ITU (Aug. 09) zu wahren. Seine Nutzungsfreigabe steht weiterhin aus.
- 2) Für die folgende Satelliten-Generation IIF (M-Code, L2C, und 4. 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, inzwischen sind 8 Satelliten verfügbar, 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. Im Bereich DoT ist die FAA zuständig.
- 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) Z. Zt. werden die GPS III-Satelliten geplant und gebaut, ohne SA-Befähigung aber mit 4. zivilem Signal (L1C). Sie sollen das System robuster gegen Störungen machen. der erste Start soll 2016 erfolgen und 2026 sollen 24 Satelliten in Betrieb sein. Das Einhalten des Zeitplanes ist wegen ständiger U.S. Haushaltsstreitigkeiten fraglich. Zudem wird über Alternativen diskutiert, z.B. Satelliten-Fähigkeiten vermindern bzw. auf Nichtnavigations-Satelliten auslagern
Mit dieser GPS-Generation III 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. Die von China vorgesehene Frequenznutzung wurde auf der WRC 2007 (Okt./Nov., Genf) verhandelt. Es werden dieselben Frequenzen für das chinesische System BEIDOU/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 Anfang an nur mit einem Fehler ca. $\pm 30\text{m}$ behaftet, und es konnte daher auch 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, dies gilt auch heute noch. Bereits nach einem halben Jahr waren nicht mehr 24 Satelliten betriebsbereit, womit letztlich FOC nicht mehr vorlag. Inzwischen wurde GLONASS revitalisiert, es sind wieder 24 (3 in Wartung bzw. Reserve) Satelliten in Betrieb (letzter erfolgreicher Start 30.11.14, 2. K-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. Am 22.12.2011 wurde erneut FOC erklärt. Am 01.04.2014 brach GLONASS infolge eines Software-Fehlers in den Satelliten total zusammen. Es war von 21:15 UTC 01.04. bis 07:30 UTC 02.04. nicht verwendbar. Diese Ausfallzeit wurde benötigt, um den Software-Fehler zu finden. Der Hintergrund war ein fehlerhaftes Update übertragen an einen Satelliten, von dem es systembedingt dann an alle GLONASS-Satelliten weiterverteilt wurde.

Inzwischen gibt es ein russisches Gesetz, das es verbietet im Lande Navigationsgeräte zu nutzen, die kein GLONASS umfassen, ob es auch für Mobilfunkgeräte mit GPS gilt ist unbekannt. Einige kombinierte GPS/GLONASS-Anlagen fielen anlässlich des GLONASS-Totalausfalls ebenfalls aus.

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.

Am 30. Nov. 2014 wurde der zweite Satellit der neuen K-Generation (Auftrag über 22 Satelliten) gestartet, bisher sind sie nicht aktiv geschaltet. 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 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	(Alter 32 J.)
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)	am 08.Febr. 2010	

LORAN-C hat als separates Nav.-System (Hyperbelnavigation) keine Bedeutung mehr. Als modifiziertes Low Frequency System oder **ENHANCED LORAN (eLORAN)** bietet es jedoch eine notwendige Absicherung (Redundanz) zur Satelliten-Navigation. Auch als „Zeitnormal“ ohne navigatorische Verwendung könnte es bei Sat-Nav.-Anlagen einer erweiterten Fehlererkennung (Jamming, eventuell Spoofing) dienen.

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

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 GALILEO. Damit war die Definitions-Phase genehmigt. Erst am 26.März 2002 wurde endgültig entschieden, 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 ein privates Firmenkonsortiums 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 baut auch Indien ein regionales Sat.-Nav. System (**Indian Regional Navigation Satellite System, IRNSS**) auf. Es soll folgende 7 Satelliten umfassen 3 GEO (34°E, 83°E, 131,5°E), 2 Paar IGSO (55°E, 111,5°E, Inclination 29°). Drei Satelliten sind (2 IGSO, 1 GEO) inzwischen im Umlauf (Starts: 01. Juli 2013, 04. Apr. 2014, 15. Okt. 2014).

GALILEO

Das System soll zu GPS kompatibel sein und es wird wie dieses aus Steuermitteln finanziert. Die **Public Private Partnership, PPP** war eine Illusion.

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, Planung 1. Start

2012 und letzte Lieferung 2014 **sowie** 4 Erprobungssatelliten (**Inorbit Validation Satellites (IOV)**, Start 21.10.2011 2 Sat. (ausgelegt für OS, PRS), 12. Okt. 2012 die anderen 2 Satelliten). Am 17. Jan. 2013 begann die Aussendung ihrer Navigationssignale. Der erste Fix wurde von der ESA in Noordwijk am 12.03.13 mit einem Fehler von 10 – 15m ermittelt. Gleiche Ergebnisse erzielte man auch in Österreich. Die folgenden Starts mußten verschoben werden wegen der verzögerter Fertigstellung der Testkammern. Am 22. Aug. 2014 erreichten die Satelliten 5 und 6 infolge eines Startraketenefehlers nicht ihre vorgesehene Position. Der Satellit 5 konnte inzwischen von der Bodenstation in eine erforderliche Kreisbahn verschoben werden. Ähnliches soll mit Nummer 6 versucht werden. Ob die beiden Satelliten auf ihren abweichenden Bahnen für das Navigationssystem geeignet sind, müssen die Tests zeigen. Die nächsten Starts sind vorgesehen für Feb. 2015 (2 Sat, russ. Rakete) und Herbst 2015 (4 Sat, modif. Ariane-Rakete). Es ist nicht zu erwarten, daß die Planung eingehalten wird, FOC mit 30 Satelliten für 2016/17 zu erreichen. Augenblicklich sind 4 Satelliten in Betrieb.

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. 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 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 (Anlagen-Software) 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 hierbei jedoch hinsichtlich einer grenzüberschreitenden Nutzung.

Offenbar sind inoffiziell inzwischen auch staatliche, zivile Organisationen der USA an einer Nutzung interessiert.

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. 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.

Für die optimale Signaltrennung GPS / GALILEO wurden spezielle Modulationsverfahren entwickelt. Dafür ließen sich zwei britische Mitarbeiter (beide Mitglieder der Galileo Signal Task Force) einer im Auftrag des UK Verteidigungsministeriums arbeitenden Firma offenbar wenig präzise formulierte Patente erteilen. Als im Frühjahr eine britische Inkassofirma Ploughshare Innovations Anlagen- und Satellitenhersteller wegen Lizenzgebühren kontaktierte, gab es Patentstreitigkeiten ähnlich wie bei Apple und Samsung. Am 1. Okt. 2012 endete der Spuk mit dem Verzicht der Patentinhaber, zumindest gegenüber GPS aber nicht bei GALILEO. UK versucht hier offenbar wieder einen finanziellen „Kuhhandel“ mit der EU.

Sicherheitsbedenken der USA schienen ausgeräumt und die Voraussetzungen für ein echtes Kombinationssystem GPS/GALILEO geschaffen. Die EU sieht für GALILEO als rein zivilem System im Konfliktfall allerdings 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). Im kommerziellen Bereich gibt es bereits Vielkanalanlagen, die GPS, GALILEO, GLONASS und BeiDou abdecken. 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 5 GEO-Satelliten gestartet worden. Die Abdeckung Chinas, eigentlich bereits für 2008 (Olympiade) vorgesehen, wurde 2011 erreicht, z. Zt. nutzbar sind 5GEO, 5 ISGO (stark elliptische GEO-Bahn) und 3 MEO. Mit der Veröffentlichung der Schlüsselinformationen (Performance Standard and Signal In Space Interface Control Document, SIS ICD) für den Open Service am 26. Dez. 2012, ergänzt und aktualisiert am 27. Dez. 2013 ist dieser öffentlich nutzbar (Abdeckung Asien-Pazifik-Region). Für 2020 ist die volle, weltweite Betriebsbereitschaft vorgesehen, eventuell wird sie bereits 2017 erreicht.

Es sollen zehn Dienste angeboten werden, fünf kommerzielle und fünf abgesicherte. Der offene Service soll einen 95%-Fehler von $\pm 10\text{m}$ bei der Position und $\pm 0,720\text{ km/h}$ bei der Geschwindigkeitsermittlung 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 1561,098MHz, 1207,14MHz und 1268,52MHz genutzt werden. BEIDOU ist mit GALILEO nicht kompatibel. Zwischen der EU und China bestehen erhebliche Dissonanzen. Sie wirkten sich bis zur European Navigation Conference, 2010 (ENC/GNSS, Braunschweig Okt.2010, ca. 300 Teiln. aus 28 Nationen) aus. Dort konnten im Programm gelistete Galileo-Vorträge wegen zurückgezogener Vortragserlaubnis (DLR, ESA) nicht gehalten werden. Auf der ENC/GNSS April 2013 waren Beschränkungen nicht mehr erkennbar. Inzwischen finden wieder Gespräche zwischen China und der EU zur Lösung der Signal-Konflikte statt, die offenbar erste Erfolge zeigen. Laut Plan III will China das offene Signal auf die GPS-Frequenz 1575,42MHz verschieben und gleichzeitig die Modulation der von GPS (L1C) und GALILEO (L1) anpassen (Kompatibilität).

Während GALILEO sich durch lange Diskussionen und Streit inzwischen mehr als 5 Jahre verzögert, wird an BEIDOU 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. Die Uni Texas hat mittels verfälschter GPS-Signale eine 0,6 km entfernte, zivile Drohne zur vorzeitigen Landung gezwungen, aber auch ein Schiff unbemerkt vom Brückenpersonal auf einen mehrere 100m versetzten Parallelkurs gebracht. Ein zusätzliches Störproblem hatten 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 (LTE) geöffnet. LightSquared beabsichtigte dafür ca. 40.000 Basisstationen mit bis zu 15 kW Sendeleistung zu errichten. Im Abstand bis zu 100km wäre dann je nach GPS-Anlage mit erheblichen Verwendungseinschränkungen zu rechnen gewesen. 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. Es wird überall an Methoden gearbeitet, mit denen sich absichtliche Störungen eliminieren aber mindestens erkennen lassen, gedacht wird u.a. an ein zertifiziertes GPS-Signal, Minimalanforderungen für zivile Anlagen

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. Während des augenblicklichen Maximums der Sonnenaktivität wurden keine nennenswerten Störungen bekannt. Bisher sind Vorhersagen eventueller Beeinflussungen weder zeitlich noch örtlich möglich außerdem besteht eine Anlagenabhängigkeit.

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 augenblicklich steigenden 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, einfache Störer sind inzwischen im Internet für \$25 zu erhalten). Sie sind aber auch leicht zu bauen, Anleitungen bietet das Internet. Bauteile für ca. \$500 genügen für eine Störreichweite von ca. 100 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. Nordkorea stört beispielweise mit hoher Leistung seit Aug. 2010 in Häufigkeit und Dauer zunehmend die GPS-Verwendung in Südkorea und den angrenzenden Seegebieten. Es sind alle drei Signale L1, L2, L5 gleichermaßen betroffen. Aber selbst geringe Störleistungen können nachgewiesenermaßen an Bord zu erheblichen, nicht alarmbelegten Positionsfehlern führen, mit entsprechenden Auswirkungen auf integrierte Systeme. Ein typisches Störbeispiel war die Verwendung eines Störsenders in einem LKW um die Ortung seitens des Arbeitgebers zu verhindern. Das Fahrzeug befuhr eine Straße neben einem Flughafen und störte die dortige GPS-gestützte Landeeinrichtung.

Die zwar kostenintensivere Erzeugung eines GPS-ähnlichen Signals, d.h. die Vortäuschung einer beliebig zu variierender falschen Position, 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). Zahlreiche Infrastrukturbereiche, auch in Deutschland, stützen sich auf die Zeitinformationen von GPS. Der 11.Sept.2001 hat gezeigt, daß alles was geschehen kann auch geschieht. In den USA gehören daher die Nutzer von Zeit-Informationen auch zu den stärksten Verfechtern einer GPS-Redundanz.

Stützung der Satelliten-Signale

Der erste Ansatz einer partiellen Absicherung war Differential-GPS (**DGPS**, Oberbegriffe: **Ground-Based Augmentation System**, **GBAS** aber auch **Local-Area Augmentation System**, **LAAS**). 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 normale 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 arbeiten auf den 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.

Die **GBAS**-Stationen lassen sich jedoch ebenso leicht stören wie GPS-Anlagen.

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 / 31,5°E, PRN123, Testbetrieb / 25°E, PRN126 / 5°E, PRN 136) Korrekturen für GPS und Warnungen bei Störungen verbreitet. Dieses als **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°W, PRN135, Backup / 107,3°W, PRN138 / 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 gibt es auch von Kanada (**CWAAS**), China (Satellite Navigation Augmentation System, **SNAS**) und Indien (**GAGAN**, 1. Sat. 55°E, PRN127 / 2. Sat 83°E, PRN 128 seit 30. Dez. 2013 zertifizierter Betrieb). Auch Rußland baut ein System auf „Glonass System of Differential Correction and Monitoring“ (**SDCM**). Der erste Satellit (Loutch-5A) wurde am 11. Dez. 2011 gestartet, Position 95°E, PRN 140 (Testbetrieb), Loutch-5B Start 02. Nov. 2012, Position 16°E, PRN 125, Loutch-5V Start 28. Apr. 2014, Position 95°E, PRN 141 (Zuordnung PRN 140 und 141 nicht ganz eindeutig). 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 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 erzeugen.

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, außerdem sind sie auf hohen Breiten nicht zu empfangen.

Die GPS-Ergänzung durch SBAS hat drei Aspekte:

- 1) Integritätsgewinn durch schnelle Warnung (6s) bei vom Nutzer nicht erkennbaren Signalmängeln einzelner GPS-Satelliten,
- 2) Verminderung des Standortfehlers ($\pm 3\text{m}$) durch Verbesserung des Ausbreitungsmodells,
- 3) Erhöhung der Satellitenanzahl für die Standortbestimmung.

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), 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. Er ist aber weiterhin im Testbetrieb.

Redundanz zur Satelliten-Navigation

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. Inzwischen steigt der Druck auf die Verwaltung, eine Redundanz zu schaffen. Er wird verstärkt durch den 11stündigen Totalausfall von GLONASS und auch als Folge der Gründung der **Resilient Navigation and Timing Foundation** (RNT, www.rntfnd.org), die auch private Beteiligung (PPP) vorschlägt. Die USCG hat zumindest die Demontage der LORAN-C-Stationen gestoppt.

Für die Europäische Kommission ist die Zukunft von LORAN, trotz der vergleichsweise geringen jährlichen Betriebskosten (**NELS, North-West European Loran-C System**, €4,2 Mio., EGNOS €110 Mio.), bislang ohne übermäßiges Interesse, auf der Tagesordnung steht GALILEO. Auf Wunsch der EU laufen aber überraschenderweise bisher 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.

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 Betreib bereits aufgenommen. England ist bestrebt ein europäisches eLORAN-System aufzubauen. An Standards für eLORAN wird international (RTCM, usw.) gearbeitet.

Norwegen will wider Erwarten seine LORAN-Stationen 2015 abschalten.

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.

Südkorea baut zu den bestehenden 2 LORAN-Stationen 3 weitere zur vollständigen Abdeckung seines Territoriums. Alle 5 Stationen werden **eLORAN**-Stationen, dazu kommen 48 Differentialstationen. Der vorläufige Betrieb (IOC) soll 2016 aufgenommen werden und der endgültige (FOC) 2018 erreicht sein.

Enhanced LORAN

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 auch hier wie bei GPS untereinander synchronisiert. Es werden jedoch bei GPS und LORAN von einander unabhängige UTC-Quellen genutzt. Wenn ein eLORAN-Signal außerhalb der Toleranz liegt wird die betreffende Station sofort abgeschaltet.

Erstmals waren im nordeuropäischen LORAN-Netz (NELS) alle 4 Ketten untereinander synchronisiert. Auch die USA modernisierten 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 (vergleichbar dem OMEGA-Verfahren) für die Positionsbestimmung herangezogen werden. Da damit die LORAN-Signale, wie die GPS-Signale unter sich 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 Häuser-schluchten wurde die volle Funktionsfähigkeit nachgewiesen. Bei vollständigem Ausbau wären in vielen Gebieten mehrere EUROFIX-Stationen zu empfangen.

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 (**G**lobal **A**ugmentation for **S**atellite **S**ystems) 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 LORAN und dem EUROFIX-DGPS. LORAN, auf diese Weise laufend kalibriert, weist es 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 erklärte am 31.Okt. 2015 IOC für 7 Ostküstenhäfen, der Kanalbereich ist bereits betriebsklar (IOC), und bis 2019 sollen alle wichtigen Häfen und Verkehrstrennungsgebiete (FOC) mit DeLORAN ausstatten sein.

LORAN hat als Stand-Alone-System, Hyperbel-System, wie es vor mehr als 25 Jahren genutzt wurde, heute keine Bedeutung mehr. Im zukünftigen **Navigations-Verfahrens-Mix** wird **Global Navigation Satellite System (GNSS)** die primäre Komponente sein.

Es ist völlig unverstänlich 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. 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. Eine einfache Störung wie bei Satelliten-Signalen ist bei diesen Sender-Signalen nicht möglich.

Nach der Abschaltung des LORAN-C-Signals wurde die Hälfte der Stationen demontiert. Die Firma UrsaNav konnte für ihre, offiziell von der USCG unterstützten „Low Frquenz“-Versuche (eLORAN abgewandelt) Stationen reaktivieren.

Da in naher Zukunft Satelliten-Verfahren nicht sämtliche Anforderungen der Nutzer erfüllen können, sollte ein **LOW FRQUENCE-** System (eLORAN, EUROFIX oder neuerdings LF Phoenix von UrsaNav) als Stützung, insbesondere aber als Integrationsbestandteil eines **robusten Navigationssysteme**, 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. Mit einem redundanten **LOW FREQUENCY-SYSTEM** könnte auch die internationale IMO-Forderung für E-Navigation erfüllt werden (eNavigationssysteme should be resilient ... robust, reliable and dependable. Requirements for redundancy, peticularly in relation to position fixing systems should be considered, MSC 85/26, Annex 20; eNavigationssysteme steht für enhanced Nav.-Systeme).

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 auf eLORAN und den unbemannten Betrieb, Wartungspersonal auf den Monitorstationen, vernachlässigbar.

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. Dr. 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 bei der Positionsberechnung ausgeschlossen. 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. Es gibt für nichtzulassungspflichtige Anlagen bisher keinerlei minimale Anforderungen.

Fazit:

- 1) Es können zwei **Zeitabschnitte** unterschieden werden:
 - a) bis zur Betriebsaufnahme eines zivil kontrollierten Satelliten-Navigationssystems (GALILEO 2018?) oder Redundanz-Verfahren
 - 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. LOW FREQUENZ-Systeme 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.
