



Galileo – und wo bist du?

Bernhard Hofmann-Wellenhof, Graz

Kurzfassung

Das amerikanische GPS funktioniert seit dem Jahr 1995 ohne Unterbrechung, das russische GLONASS folgte 1996, war allerdings über viele Jahre nicht voll verfügbar, das chinesische COMPASS wird mit unglaublicher Geschwindigkeit aufgebaut, diese und alle weiteren Systeme und deren Erweiterungen werden mit dem Begriff GNSS (Global Navigation Satellite Systems) erfasst. Brauchen wir trotzdem Galileo, obwohl andere Systeme verfügbar sind?

Nach den beiden Testsatelliten GIOVE A und B mit Startdatum in den Jahren 2005 und 2008 wurden am 21. Oktober 2011 vom Raumfahrtgelände Kourou in Französisch-Guayana die beiden ersten Galileo-Satelliten von einer russischen Trägerrakete in ihre Umlaufbahnen gebracht. Im Sommer 2012 sollen die beiden nächsten Satelliten folgen. Im Jahr 2015 sollen 18 von insgesamt 30 Satelliten verfügbar sein. Es dauert also noch eine Weile, bis Galileo immer und überall zur Verfügung stehen wird. Läuft die Zeit davon?

Der gegenwärtige Stand von GNSS sowie die zukünftigen Entwicklungen sollen einerseits einen Überblick geben und schließlich auch die Frage beantworten, ob wir Galileo brauchen, ob Galileo sinnvoll ist.

Schlüsselwörter: EGNOS, Galileo, GNSS

Abstract

Since 1995, the US GPS has been working continuously. In 1996, the Russian GLONASS reached the same status; however, due to the lack of satellites, the system was not fully available for many years. Currently, the Chinese COMPASS is being developed rapidly. These and additional systems together with respective augmentations are covered by the term GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Under those circumstances, is there any need for Galileo despite the (free) availability of the other systems?

After the two successful launches of the two testing satellites GIOVE A and B in 2005 and 2008, a milestone as seen from the European perspective occurred on 21. October 2011: the first two Galileo satellites were successfully launched from the European Space Center Kourou in French-Guiana onboard a Russian Soyuz launch vehicle. In this summer, two more satellites are scheduled. In 2015, 18 out of the total of 30 satellites ought to be available. In other terms, there will flow some water in the river before Galileo will become a global system being available anywhere and at any time. Is this sufficient to compete with the other systems?

The current status of GNSS and future developments are described to answer the questions for the need of Galileo and its usefulness.

Keywords: EGNOS, Galileo, GNSS

1. Die Historie von Systemen zur satellitengestützten Positionierung

Dieser Abschnitt stützt sich wesentlich auf [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Seiten 4-7). Das Zeitalter der satellitengestützten Positionierungssysteme reicht zurück in die späten 50er-Jahre. Der eigentliche Vorläufer der heutigen modernen Systeme ist das amerikanische Transit System, auch als Navy Navigation Satellite System (NNSS) bezeichnet. Das Konzept aus den späten 50er-Jahren wurde in den 60er-Jahren umgesetzt. Es handelte sich um eine militärische Entwicklung, die primär zur Bestimmung der Koordinaten (und auch der Zeit) von Schiffen und für militärische Landeinsätze verwendet wurde. Später wurde das System auch für die zivile Verwendung zugelassen. Damit stand seinem weltweiten Gebrauch sowohl für Navigation

als auch für die klassische Vermessung nichts mehr im Weg.

Es ist verblüffend, zu sehen, wie ähnlich Transit den heutigen modernen Systemen war. Es bestand aus sechs Satelliten in niedrigen, kreisförmigen Polbahnen, wobei die Höhe nur etwa 1.100 km betrug. Die Satelliten sendeten zwei Trägerwellen mit 150 und 400 MHz. Auf diese Trägerwellen waren sowohl Zeitmarken als auch Bahninformation aufmoduliert.

Mit Einfrequenzempfängern, die nur eine der beiden Trägerwellen empfangen konnten, wurden Positionsgenauigkeiten im Bereich von 100 m erzielt. Für Zweifrequenzempfänger verbesserte sich die Genauigkeit auf etwa 20 m. Aber schon damals wurde in Experimenten der ehemaligen US Defense Mapping Agency (DMA)

und des US Coast Guard & Geodetic Survey gezeigt, wie die Genauigkeit auf etwa 1 m gesteigert werden könnte, wenn man die Beobachtungen auf einem Punkt über mehrere Tage oder sogar Wochen ausdehnte. Sehr bald erkannte man auch das Potential von Relativmessungen. So wurden Doppler-Empfänger im sogenannten „translocation mode“ eingesetzt. Das heißt, es wurden simultane Beobachtungen mehrerer Empfänger verwendet, um relative Koordinaten von Punkten zu bestimmen. Damit wurden bereits Genauigkeiten im Submeter-Bereich erzielt, wobei es ausreichte, die weniger genauen Broadcast-Ephemeriden zu verwenden und auf die genaueren Präzisen Ephemeriden, die erst a posteriori bestimmt werden konnten, zu verzichten.

Eine kleine Facette sei hier angemerkt, weil sie historisch interessant ist. Für die Amerikaner bedeutete der Start des ersten künstlichen Satelliten, Sputnik, im Jahr 1957 durch die damalige Sowjetunion einen schweren Schlag in der Raumfahrtgeschichte. Sehr schnell erkannten Wissenschaftler, wie man aus der Doppler-Verschiebung des empfangenen Satellitensignals zunächst die genaue Zeit der größten Annäherung des Satelliten ermitteln konnte. Neben Christian Doppler spielten die Erkenntnisse eines weiteren Wissenschaftlers, der u.a. in Graz und Linz geforscht hatte, nämlich Johannes Kepler, eine entscheidende Rolle für die Weiterentwicklung. Denn die (globale) Bestimmung von Koordinaten in Echt-

zeit benötigt die Kepler-Elemente der Satellitenbahnen.

Wer mehr über Transit erfahren will, sei auf [2] Hofmann-Wellehof et al. (2003: Seiten 169-172) verwiesen. Die russische Antwort auf Transit lautete Tsikada (auch Cicada). Beide Systeme arbeiteten nach dem gleichen Prinzip. Auch die erzielbare Genauigkeit war vergleichbar. Bei Tsikada gibt es zwei Satelliten-Konstellationen, eine für militärische und eine für zivile Anwendungen. Die militärische Konstellation, sie funktioniert noch heute, besteht aus sechs Satelliten, wobei der erste im Jahr 1974 in die Umlaufbahn gebracht wurde. Die zivile Konstellation besteht aus nur vier Satelliten.

Im Vergleich zu den heutigen Systemen haben Transit und Tsikada zwei gravierende Nachteile. Durch die geringe Anzahl an Satelliten musste man immer wieder rund 90 Minuten auf die Satelliten warten, bis man einen „Durchgang fixieren“ konnte. Es war also keine kontinuierliche, simultane Messung zu mehreren Satelliten möglich. Folglich resultiert daraus als zweiter Nachteil die geringe erzielbare Genauigkeit. Insbesondere die Bestimmung der Höhe war mangelhaft.

2. Heute und morgen

Das amerikanische Global Positioning System (GPS) wurde vom US Militär primär entwickelt, um die gerade genannten Nachteile von Transit auszuscheiden. Mit GPS ist die Möglichkeit gege-

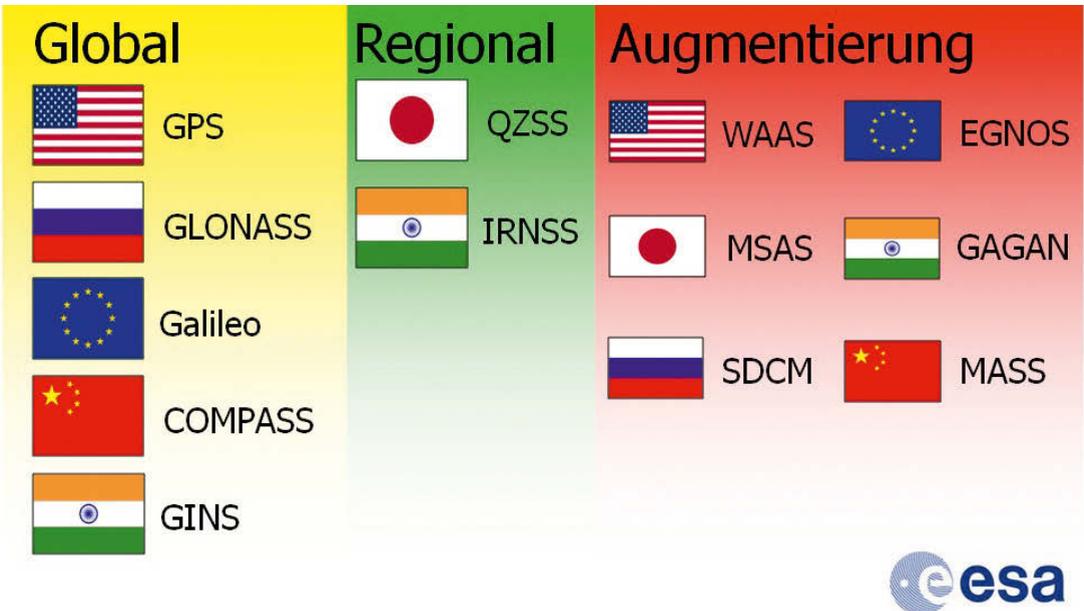


Abb. 1: Weltweite Flaggenparade für globale oder regionale Systeme und deren Erweiterungen

ben, überall, zu jeder Zeit und bei jedem Wetter die Fragen nach den Koordinaten zu beantworten. Darüber hinaus kann auch die Geschwindigkeit eines Objekts ermittelt werden, und auch die Zeit ist hochpräzise bestimmbar.

Das russische Global Navigation Satellite System (GLONASS) ist ebenfalls ein militärisches System und stellt das Gegenstück zu GPS dar, wobei es einige signifikante Unterschiede gibt.

Aus europäischer Sicht kommt Galileo hinzu, dessen Fertigstellung allerdings noch in weiter Ferne ist.

Und China entwickelt COMPASS, das aus der Vorläuferentwicklung Beidou, einem regionalen System, entsteht.

Die Welt ist aber noch wesentlich bunter. Diese und alle weiteren Systeme und deren Erweiterungen werden mit dem Begriff GNSS (Global Navigation Satellite Systems) erfasst. Eine Übersicht gibt Abbildung 1.

Neben den bereits genannten globalen Systemen GPS, GLONASS, Galileo und COMPASS gibt es auch in Indien Überlegungen, ein eigenes Global Indian Navigation System (GINS) zu etablieren. Jedenfalls ist Indien bei den regionalen Systemen bereits durch das Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) vertreten. Regionale Systeme sind Systeme, die nur regional eingesetzt werden können, weil nur in den entsprechenden Regionen die Satellitensignale empfangen werden können. In dieser Kategorie ist auch Japan mit seinem Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) vertreten, das die ostasiatische Region und Ozeanien abdeckt.

Unter Augmentierungen versteht man zusätzliche Komponenten, die zu einem globalen oder regionalen System gehören. Warum werden diese benötigt? Die Services, die z.B. von GPS und GLONASS angeboten werden, reichen mit ihren Leistungen im Alltag vielfach nicht aus. Typische Beispiele sind Landungen von Flugzeugen oder Hafenanäherungen bzw. Einfahrten in Häfen von Schiffen. Für derartige Operationen reicht weder die Genauigkeit noch die Integrität des Services. Um diese Defizite zu beheben, wurden die Augmentierungen konzipiert und umgesetzt. In Figur 1 ist eine Reihe von Augmentierungen aufgezählt: zum amerikanischen GPS gehört das Wide Area Augmentation System (WAAS), zum russischen GLONASS das System for Differential Correction and Monitoring (SDCM). In Japan wird das Multi-Transport Satellite-based Augmentation System (MSAS) verwendet, in Indien GAGAN (benannt nach dem Hindi-Wort für

Himmel) und in China das Satellite Navigation Augmentation System (SNAS) – es existiert für die chinesische Augmentierung auch das Akronym MASS. Und in Europa? Da existiert das European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), dessen Open Service am 1. Oktober 2009 für operationell erklärt wurde. Dabei handelt es sich um eine für Europa konzipierte Ergänzung zu GPS. Im nächsten Abschnitt folgen einige Details zu EGNOS.

3. EGNOS

Das Raumsegment von EGNOS besteht aus drei geostationären Satelliten. Die GNSS Signale werden in 34 Receiver Integrity Monitoring Stations (RIMS) ausgewertet. Die Ergebnisse werden über das EGNOS Wide-Area Network (EWAN) zu den vier Master Control Centers (MCC) geschickt, wobei nur eines der vier Zentren benötigt wird, die übrigen werden nur für Backup und im Fall von Problemen benötigt. Über die Navigation Land Earth Stations (NLES) wird die Augmentierungsinformation zu den drei geostationären Satelliten geschickt. Auch bei den NLES gibt es einen Sicherheitsfaktor: pro geostationärem Satellit werden zwei NLES eingesetzt, eine ist aktiv und die andere ist für den Backup verantwortlich.

Für die Anwendbarkeit von EGNOS gibt es verschiedene Entwicklungsstufen. In der ersten ist der Überdeckungsbereich durch eine Fläche gegeben, die durch die European Civil Aviation Conference (ECAC) definiert wurde. Im nächsten Entwicklungsschritt wird die Überdeckung auch Afrika umfassen. Für die weitere Entwicklung von EGNOS sei auf [3] European Space Agency (2005) verwiesen.

Die EGNOS-Information kann auch über das Internet erhalten werden, weil die European Space Agency (ESA) das Signal entsprechend entwickelte. Der Fachausdruck hierzu heißt Signal-In-Space over Internet und wird mit SISNeT abgekürzt. An die Daten gelangt man über einen Anbieter. Das zugehörige Service wird als EGNOS Data Access System (EDAS) bezeichnet.

Um anschaulich zu demonstrieren, wie die Leistung mit EGNOS im Vergleich zu GPS allein steigt, betrachte man Abbildung 2. Es handelt sich dabei um eine maritime Anwendung in Portugal aus dem Jahr 2007.

Die Daten wurden freundlicherweise von der Firma TeleConsult Austria GmbH zur Verfügung gestellt. Das Schiff fuhr zwischen Almada und Lissabon. Die Referenztrajektorie wurde durch

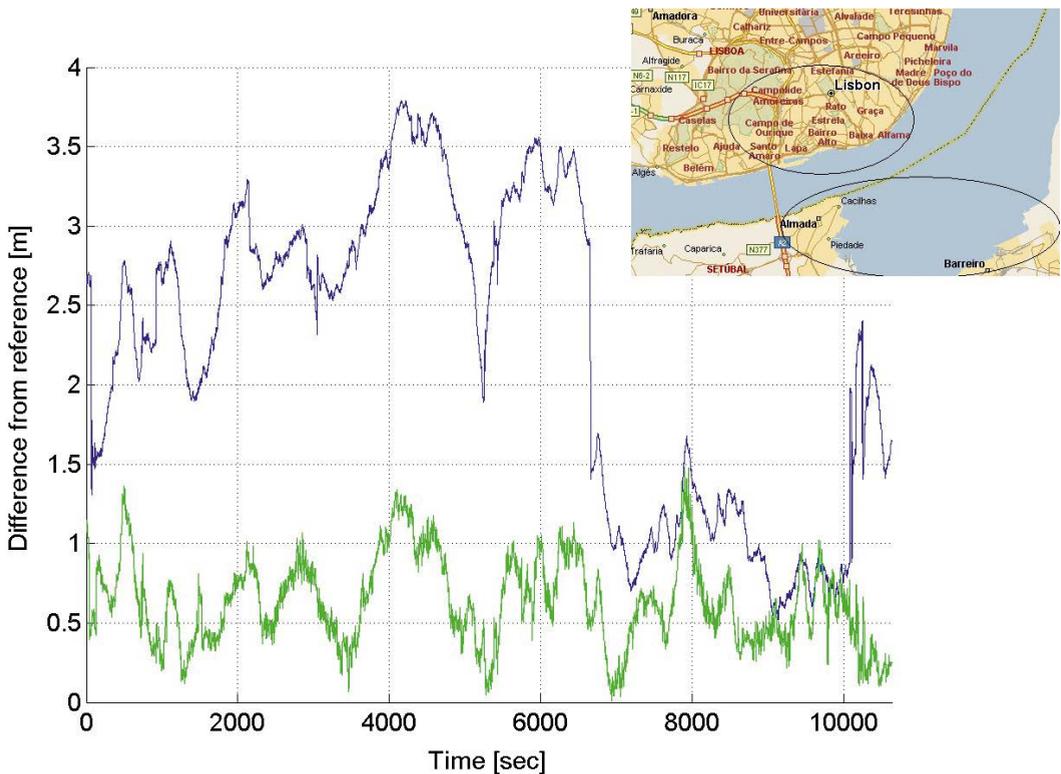


Abb. 2: Steigerung der Genauigkeit durch EGNOS

die relative Positionierungsmethode real-time kinematic, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Seiten 438 und 439), auf wenige Zentimeter genau bestimmt. Im Vergleich dazu gibt die blaue Kurve die Abweichungen von der Referenztrajektorie in Metern an, wenn nur GPS nach der Methode der Einzelpunktbestimmung, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Sect. 6.1.1), verwendet wird. Im Vergleich dazu gibt die grüne Kurve die Differenz zur Referenztrajektorie an, wenn EGNOS mitverwendet wird. Die deutliche Genauigkeitsverbesserung ist evident.

Wie schon erwähnt, ist EGNOS nur in Kombination mit GPS einsetzbar, da es sich um ein Augmentierungssystem handelt. Jedenfalls ist, in Bezug auf satellitengestützte Navigationssysteme, EGNOS die erste wichtige Komponente, die Europa geliefert hat. Man kann darüber geteilter Meinung sein, aber irgendwie empfinde ich es als geniale Idee, mit einer Augmentierung zu beginnen, weil die Entwicklung und der Aufbau des Gesamtsystems viel mehr Zeit in Anspruch nimmt. Aus europäischer Sicht wird EGNOS manchmal auch GNSS-1 genannt, um anzudeuten, dass es dich dabei um die erste europäische Komponente handelt. Folglich ist GNSS-2

die zweite Entwicklungsstufe. Damit wird Galileo bezeichnet, dessen Entwicklung im folgenden Abschnitt zusammengefasst wird.

4. Galileo

Am 21. Oktober 2011 kam von der Europäischen Kommission folgende Pressemitteilung:

“Today Europe takes a major step in its history by launching the first two operational Galileo satellites at 12h30 CET from Kourou, French Guiana with a Soyuz launcher to reach their orbit at 23.000 kilometers. Europe is now a step closer to having its own smart satellite navigation system, which will bring many benefits to our economies and our daily lives. European industry is in pole position to benefit from the Galileo program, by providing businesses and citizens direct access to a satellite navigation signal powered in Europe.

From 2014, the new constellation will enable improved services ranging from more precise in-car navigation, effective road transport management, search and rescue services, more secure banking transactions as well as reliable electricity provision, which all rely heavily on satellite navigation technologies to work efficiently.

(EGNOS), und GNSS-2 (Galileo). Der Name Galileo wurde provisorisch im Jahr 1999 zum ersten Mal verwendet. Wie so oft mit Provisorien, sie zeichnen sich gerne durch Beständigkeit aus. So auch hier, denn mittlerweile hat sich der Name etabliert. Bei der Bezeichnung Galileo handelt es sich um kein Akronym, sondern um eine Würdigung des Wissenschafters und Astronomen Galileo Galilei (1564-1642).

Auch für Galileo gibt es einen Stufenplan, der in Abbildung 4 gezeigt wird. Eine kritische Anmerkung sei hier erlaubt. Diese Abbildung, die ich vielfach bei Galileo-Vorträgen präsentiert habe, ist die von mir am öftesten veränderte, weil immer wieder der Zeitplan zu adaptieren war. Ursprünglich war die Full Operational Capability (FOC), also das Erreichen der Vollausbaustufe mit allen 30 Satelliten, für das Jahr 2008 (!) vorgesehen gewesen. Die Verspätung aus der heutigen Sicht beträgt bis zum Erreichen von FOC 10 bis 12 Jahre. Hoffentlich gibt es keine weiteren Verzögerungen, denn der internationale GNSS-Wettbewerb hat längst begonnen, und Europa sollte ein Mitbewerber sein. Diese Situation animierte auch zu der Titelfrage: „Galileo – und wo bist du?“

Abgesehen von der zeitlichen Verzögerung taucht immer wieder die Frage nach der Notwendigkeit von Galileo auf. So schreibt beispielsweise Manfred Bauer (2011) in [4]: „Aus technischer Sicht ist die Vielfalt der GNSS pure Geldverschwendung. Aus politischer Sicht kann aber nicht geleugnet werden, dass die GNSS als Dual-Use Systeme nicht nur von großer Bedeutung für die zivile Wirtschaft, sondern mehr noch von herausragender Bedeutung für das Militär sind – auch wenn weltweit die zivile Nutzung überwiegt.“ Andere Meinungen bringen die Kosten von Galileo ins Spiel und fragen, wozu Galileo nötig sei, wenn doch GPS kostenfrei zur Verfügung stehe. Diese Stimmen haben offenbar die Zeit der Selective Availability schon vergessen, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Sect. 9.3.3). Allein schon die Erinnerung an die Steuerbarkeit der Genauigkeit, wie dies durch Einführen der Selective Availability gemacht wurde, zeigt, wie wichtig es ist, unabhängig von einem (militärischen) Systembetreiber zu sein. Mit zwei Beispielen soll gezeigt werden, dass einerseits ein System allein für manche Anwendungen nicht ausreichend ist und andererseits der potentielle wirtschaftliche Nutzen, der aus einem eigenen System resultieren kann.

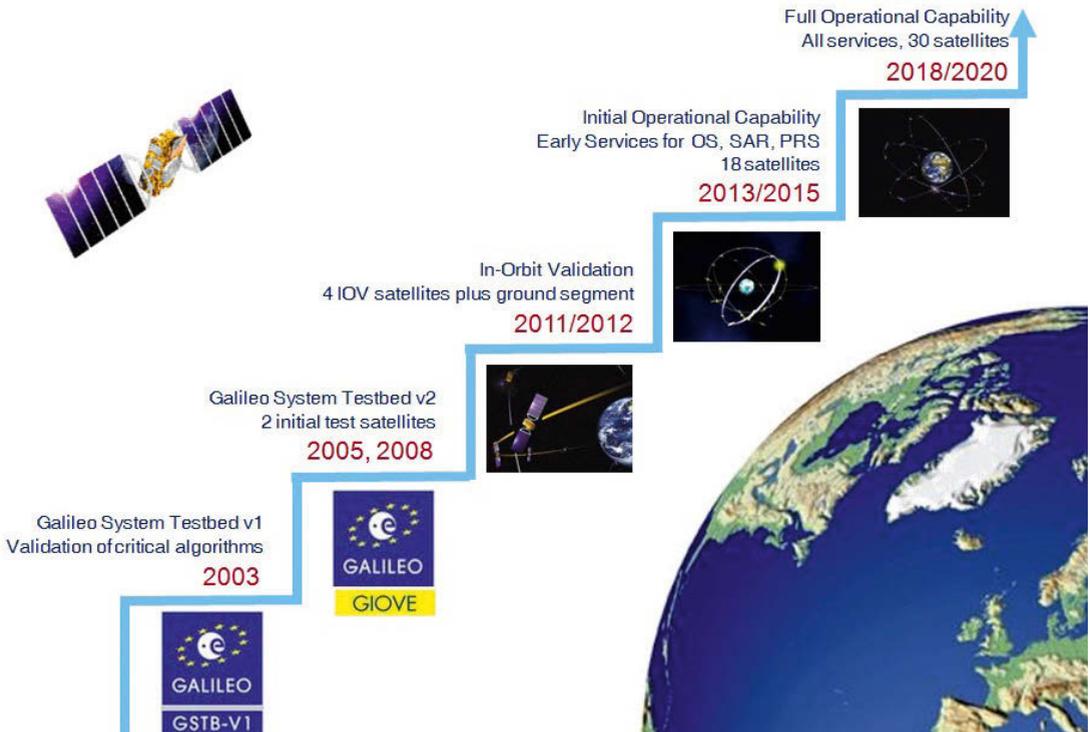


Abb. 4: Zeitlicher Stufenplan für die Entwicklung von Galileo

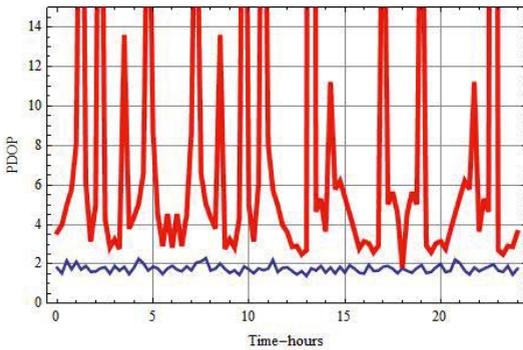


Abb. 5: PDOP für GPS (rot) und für GPS+Galileo (blau) [mit freundlicher Genehmigung von J. Spilker]

In Abbildung 5 ist folgendes Szenario dargestellt: ein Beobachtungsstandort in Kalifornien mit starken Abschattungen, so dass Satelliten erst ab einem Elevationswinkel von 30 Grad gesehen werden können. Wenn für diesen Standort die Geometrie der GPS-Satelliten, die durch PDOP (Position Dilution of Precision) dargestellt ist, für 24 Stunden berechnet wird, resultiert der rote Graph. Von einer guten Geometrie spricht man, wenn PDOP kleiner als 3 ist. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die GPS-Satelliten allein nahezu den ganzen Tag über keine gute Geometrie aufweisen. Das ändert sich signifikant, wenn die Galileo-Satelliten dazu genommen werden. Der dann resultierende blaue Graph zeigt

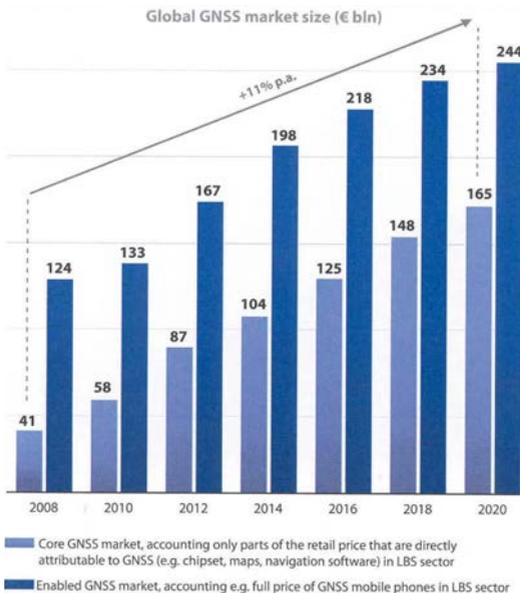


Abb. 6: Erwartetes GNSS Wachstum (Angaben in Milliarden Euro) aus dem GNSS Market Report der European GNSS Agency

eine signifikante Verbesserung, denn nun liegt der PDOP-Wert für den ganzen Tag meist unter 2. Situationen mit starker Abschattung kommen insbesondere in Städten, aber auch im alpinen Gelände häufig vor.

Der wirtschaftliche Nutzen eines eigenen Systems kann nur abgeschätzt werden. Es liegt dazu eine große Zahl von Untersuchungen vor. Zwei Beispiele aus dem umfangreichen GNSS Market Report der European GNSS Agency [5] sollen das erwartete Wachstum auf dem Sektor von GNSS zeigen.

Abbildung 6 zeigt eine Prognose bis zum Jahr 2020 und spezifiziert den GNSS Markt nach Produkten, die einerseits direkt GNSS zuordenbar sind wie entsprechende Empfänger, Karten, Navigationssoftware (linke Säule beim jeweiligen Jahr) und andererseits den erweiterten Markt, der z.B. auch den vollen Verkaufspreis der GNSS Mobiltelefone enthält.

Es ist auch interessant, bei den direkt GNSS zuordenbaren Produkten die Verteilung der Marktsegmente zu studieren. Umgelegt auf 100% entfallen nur 0.2% auf die Luftfahrt, 0.6% auf die Landwirtschaft, 42.8% auf location-based Services, 56.4% auf straßenbezogene Anwendungen. Das erwartete Wachstum im Zeitraum von 2008 bis 2020 liegt bei 11% jährlich!

Schließlich gibt Abbildung 7 eine Prognose über die verkauften Geräte, die einen GNSS-Bezug haben. Die Säulen unterscheiden zwischen der Europäischen Union, Nordamerika und dem Rest der Welt. Besonders der Vergleich zwischen der Europäischen Union und Nordamerika ist interessant. In Nordamerika ist der jährlich Bedarf wesentlich höher als in Europa, allerdings das Wachstum wesentlich geringer als in Europa.

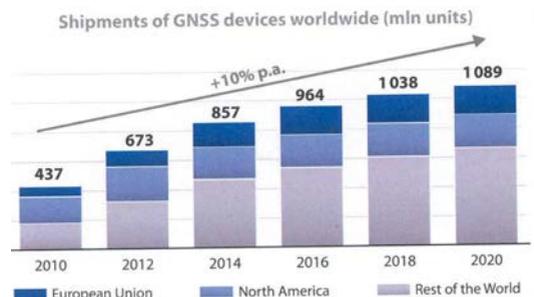


Abb. 7: Prognose für verkaufte Geräte mit GNSS-Bezug (in Millionen) aus dem GNSS Market Report der European GNSS Agency

5. Zusammenfassung

Die weltweiten GNSS-Aktivitäten gleichen einem Wettlauf um Marktanteile. Wer jetzt nicht mitmacht, kommt wohl auch später nicht mehr zum Zug. Europa ist mit Galileo einer der aussichtsreichen Mitbewerber neben den USA mit GPS, Russland mit GLONASS und China mit COMPASS. Auch andere Staaten wie Indien und Japan sind zumindest regional beteiligt. „Galileo – wo bist du?“ lautete die Titelfrage. Trotz der enormen Verzögerungen ist Europa mit Galileo noch im Rennen. Wie wichtig ein eigenständiges System ist, zeigt nicht nur die Notwendigkeit der Kombination von mehreren Satellitennavigationssystemen, um auch im verbauten Gebiet oder im stark alpinen Gelände noch Positionen mit ausreichender Genauigkeit bestimmen zu können, sondern auch die Marktanalyse der European GNSS Agency, die für die kommenden Jahre einen riesigen GNSS-Wirtschaftsfaktor prognostiziert.

Literaturverzeichnis

- [1] Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E (2008): GNSS – GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer, Wien New York.
- [2] Hofmann-Wellenhof B, Legat K, Wieser M (2003): Navigation – principles of positioning and guidance. Springer, Wien New York.
- [3] European Space Agency (2005): EGNOS news, 5(2). Verfügbar unter www.egnos-pro.esa.int/newsletter

[4] Bauer M (2011): Vermessung und Ortung mit Satelliten – Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme, 6. Auflage. Wichmann, Karlsruhe.

[5] European GNSS Agency (2010): GNSS Market Report. Verfügbar unter www.gsa.europa.eu

Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c.mult. Bernhard Hofmann-Wellenhof, Institut für Navigation, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz.
E-mail: hofmann-wellenhof@tugraz.at

Vortragender

o.Univ.-Prof. Dr. Bernhard Hofmann-Wellenhof

1976 Geodäsie an der TU Graz

1978 Promotion an der TU Graz

1983 Habilitation an der TU Graz

1986 Universitätsprofessor an der TU Graz

2011 Vizerektor für Lehre an der TU Graz

Auszeichnungen:

Doctor honoris causa (Dr. h.c.) der Todor Kableshkov Higher School of Transport, Sofia, Bulgarien (2005)

Mitglied der Österreichischen Geodätischen Kommission (2007)

Doctor honoris causa (Dr. h.c.) der Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Ungarn (2009) 