



Manfred Bauer

# Galileo: Goldgrube oder Groschengrab?

**Es wird der Frage nachgegangen, ob das technische und wirtschaftliche Potential des europäischen Satellitennavigationssystems GALILEO in der Öffentlichkeit realistisch dargestellt wird und die Frage gestellt, ob die von der EU erwarteten Gebühreneinnahmen und damit das Finanzierungsmodell für GALILEO realistisch sind.**

## 1 Einleitung

Am 28. Dezember 2005 6:19 MEZ wurde vom Weltraumbahnhof Baikonur (Kazachstan) GIOVE, der erste Testsatellit des Europäischen Satellitennavigationssystems Galileo in seine Umlaufbahn geschossen. GIOVE (Galileo In Orbit Validation Equipment) kann als Indiz dafür angesehen werden, dass das 1999 von der europäischen Kommission vorgeschlagene Satellitennavigationssystem Galileo nach langjährigen politischen Streitereien endgültig auf den Weg gebracht ist [1, 2].

Im engen zeitlichen Zusammenhang mit diesem Satellitenstart, wird in den Medien – auch in Fachzeitschriften [3–6] – verstärkt über Galileo berichtet. Besonders in den Medien, die sich an eine breitere Öffentlichkeit wenden, werden erstaunlich Dinge über Galileo verbreitet.

VDI Nachrichten vom 6. Januar 2006:

*Die Genauigkeit (des Galileo) dürfte bei mindestens 4 m liegen<sup>1</sup>, je nach Anwendungen aber bis in den Zentimeterbereich sinken und damit wesentlich genauer sein als das gegenwärtige GPS-System. Zudem soll das Galileo-Signal in geschlossenen Räumen, engen Strassen und unter Bäumen einwandfrei empfangbar sein.*

Capital 4/2006 (2. Februar 2006):

*Das Geheimnis der Überlegenheit Galileos – gegenüber GPS – sind die weit auseinander liegenden Frequenzbänder. Sie ermöglichen es mit zehn Signalen zu arbeiten. GPS dagegen sendet nur ein ziviles Signal, die beiden anderen nutzen die US-Armee und die Nato.*

*Bis 2010 will Europa 50 Prozent des Navigationsmarkts erobern, bis 2015 sogar 90 Prozent<sup>2</sup>.*

Journal aus Darmstadt da facto (20. Februar 2006)

(<http://www.dafacto.de/artikel/ww/04297/index.html>)

*Schätzungen zufolge stehen den etwa drei Milliarden Euro öffentlicher Investitionen in das neue Galileo-System etwa 100 Milliarden Euro Wertschöpfung gegenüber. Galileo könnte – so das Kalkül der Experten – durch weltweite Vermarktung von Anwendungen so zur Goldgrube werden. Überdies sollen europaweit etwa 100 000 neue High Tech-*

*Arbeitsplätze im Zuge des Galileo-Projekts entstehen. Allein in Darmstadt und der Region Rhein Main sollen rund 1000 neue Jobs entstehen.*

Mit anderen Worten: Das US-amerikanische GPS ist Galileo so hoffnungslos unterlegen, dass GPS ab 2015 eine Technologie von allenfalls marginaler Bedeutung sein wird. Mit Galileo haben sich die Europäer eine wahre Goldgrube erschlossen.

Fast immer stützen sich diese Meldungen auf Veröffentlichungen der Institutionen, die für Galileo verantwortlich sind. Dazu folgendes Beispiel:

Am 22. März 06 veranstaltete das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in Zusammenarbeit mit der hessischen Landesregierung sowie der ESA beim Europäischen Satellitenkontrollzentrum ESOC in Darmstadt die 2. Galileo-Anwenderkonferenz. Dazu wurde im Internet mit einem Text geworben, der u. a. folgendes enthält (Quelle: [http://www.esa.int/esaCP/SEML-COMVGJE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEML-COMVGJE_Germany_0.html))

*Die genaue Bestimmung des Standortes und der Zeit sind Informationen, die bisher mit hoher Genauigkeit nicht einfach zu beschaffen und noch schwerer zu kombinieren waren. Dank Galileo wird dies in wenigen Jahren für jedermann an jedem Ort auf dem Planeten Erde möglich sein. Galileo stellt daher eine technologische Revolution dar, die mit der durch den Mobilfunk ausgelösten vergleichbar ist. Sie wird zur Entwicklung einer neuen Generation weltweit verfügbarer universeller Dienste führen – mit vielseitigsten Anwendungsmöglichkeiten für die Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt.*

Wer diesen Text unvoreingenommen liest muss zu dem Ergebnis kommen, dass erstmalig (!) mit Galileo auf einfache Weise Zeit- und Ortsbestimmung durchgeführt werden kann. Unter dieser falschen Prämisse kann erwartet werden, dass es eine unüberschaubar große Anzahl von Nutzern geben wird die von Galileo profitieren und bereit sein werden, einen angemessenen Beitrag zur Finanzierung des Systems zu leisten. Somit können mit Galileo betriebswirtschaftliche Gewinne erzielt werden.

Für Galileo gibt es viele gute Gründe. Sie sollen mit diesem Beitrag nicht in Abrede gestellt werden. Es geht hier lediglich darum zu zeigen, dass das Galileo-Finanzierungsmodell mehr als fraglich ist. Besonders deutlich kann dies an Hand der prognostizierten Einnahmen aus direkten Zahlungen der Galileo-Benutzer aufgezeigt werden. Nur darum geht es in diesem Beitrag.

## 2 Satellitengestützte Navigation nach Inbetriebnahme von Galileo

Auf den Internetseiten der EU wird als Zeitpunkt für die Aufnahme des Regelbetriebs von Galileo (Full Operatio-

1 Was ist gemeint: „Besser als“?

2 Die Zeitschrift Capital beruft sich bei diesen Zahlen auf die EU!

nal Capability (FOC)) das Jahr 2008 genannt. In einem Vortrag von Januar 2006 auf dem *Munich Satellite Navigation Summit* nannte Carlo des Dorides (Head of GJU Concession Division, Galileo Joint Undertaking) bereits das Jahr 2010 als Beginn des Betriebs. Inoffiziell werden inzwischen auch die Jahre 2011, 2012 genannt. Erst danach beginnt z.B. der Prozess zur Zertifizierung des Systems für sicherheitskritische Anwendungen in der Luftfahrt. Das wird weitere Jahre in Anspruch nehmen. Welches dieser Jahre man auch in Betracht zieht: zu jedem Zeitpunkt konkurriert Galileo mit zwei weiteren Globalen Satellitennavigationssystemen: mit dem US-amerikanischen GPS, dessen Modernisierung auf den Weg gebracht ist, und mit dem russischen GLONASS, in das Russland verstärkt investieren will und dessen Modernisierung angeht. Damit stehen gebührenfreie Signale von drei Globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) zur Verfügung. GPS und Galileo sind kompatible Systeme. Daher können GPS/Galileo-Empfänger leicht entwickelt werden und die zivilen, kostenfreien GPS- und die kostenfreien Galileo-Signale gemeinsam genutzt werden [2]. Weiter stehen kostenfreie GPS-Navigationssignale und Integritätsinformationen der satellitengestützten GNSS-Weitbereichserweiterungen EGNOS (für Europa), WAAS (für die USA) CWAAS (für Kanda) und MSAS (für Japan) zur Verfügung. Es gibt weltweit bessere und sicherere kostenfreie GNSS-Dienste als heute. Bei gemeinsamer Nutzung der kostenfreien GNSS-Signale werden Genauigkeit, vor allem aber die Zuverlässigkeit von GNSS sehr viel besser sein, als zum jetzigen Zeitpunkt.

In den folgenden Abschnitten soll GLONASS nicht weiter betrachtet werden. Zwar hat der russische Präsident Putin am 26. Dezember 2005 erklärt, dass er sich für einsetzen wolle, dass ein modernisiertes GLONASS schon vor 2008 fertig gestellt sein soll (<http://en.rian.ru/russia/20051226/42709745.html>). Leider sind die bisherigen Erfahrungen mit GLONASS auch mit diesem Votum nicht geeignet, Vertrauen in eine stetige Verfügbarkeit des Systems zu setzen.

## 2.1 Das Galileo Dienste-Konzept

Das Galileo Dienste-Konzept ist z.B. in [3, 5, 7] beschrieben. Hier sei daran erinnert, dass bei dem offenem Dienst (Open-Service, OS) Galileo-Signale aus zwei Frequenzbereichen (E5, L1) kostenfrei genutzt werden können, während der Kommerzielle Dienst (Commercial Service, CS), der alle drei Galileo-Frequenzbereiche nutzt, nur gegen Gebühren genutzt werden kann.

Gedacht ist der CS für Anwendungen, deren Anforderungen durch den OS nicht abgedeckt werden<sup>3</sup>. Diese Anforderungen sollen dadurch erreicht werden, dass im CS neben der Navigationsnachricht weitere Informationen zur Verfügung gestellt werden. Eine diese Informationen kann eine Integritätsinformation sein. Die für den CS konzipierten Datenübertragungsraten von 250 bit/s bzw. 1000 bit/s – einschließlich der Navigationsnachricht (50 bit/s) – sind für eine Integritätsinformation ausreichend, nicht aber z.B. für die Übertragung von RTK-Kor-

rekturdaten (mehr als 2000 bit/s). Zentimetergenaue Positionierung kann daher im Gegensatz zu dem, was immer wieder in den Medien behauptet wird, nicht mit einem autonom arbeitenden Galileo-Empfänger erreicht werden. Es können aber Pseudostrecken-Korrekturdaten bereitgestellt werden, die eine Navigationsgenauigkeit im Sub-Meter Bereich zulassen.

Es liegt in der Hand der Dienste-Anbieter die auf der Grundlage einer Vereinbarung mit der Galileo-Betreiber-gesellschaft über die Galileo-Satelliten ihre Dienste anbieten welche Zusatzdaten im CS bereitgestellt werden. In [8] Ziffer 13.5.2 werden als Beispiele für zu übertragenden Daten genannt: *Unwetterwarnungen, Verkehrsinformationen und Unfallwarnungen*.

## 2.2 Merkmale des modernisierten GPS

Die durch die Diskussion über ein europäisches satellitengestütztes Navigationssystem sich abzeichnende Konkurrenzsituation zwischen GPS und Galileo war ein wesentliches Motiv für die Amerikaner GPS zu modernisieren um damit auch dessen Leistungsparameter für die zivile Nutzung zu verbessern [9]. Einen Überblick über den aktuellen Stand der GPS-Modernisierung und ihre Auswirkung wird in [10] gegeben. Einige Aspekte seien hier herausgestellt.

Ein Ziel der Modernisierung ist, zivile und militärische Nutzung von GPS von einander zu trennen. Erst seit kurzem besteht die Möglichkeit den P-Code auch ohne Nutzung des C/A-Codes zu nutzen [11]. Es gibt jedoch noch viele militärische GPS-P-Code-Empfänger die aus den z.B. in [12] beschriebenen Gründen auf den zivilen C/A-Code angewiesen sind. Das hat zur Folge, dass die Nutzung von GPS auch in naher Zukunft nur dann vollkommen ausgeschaltet werden kann, wenn auch die militärische Nutzung ausgeschaltet wird.

Dies wird zukünftig anders sein. Durch Einführung der in den USA neu entwickelten BOC-Modulation (s. Anhang) besteht die Möglichkeit, dass unterschiedliche Nutzergruppen gleiche Trägerfrequenz nutzen. Dies wird im modernisierten GPS, aber auch bei Galileo, der Fall sein. Bei GPS wird z.B. zukünftig der militärische P-Code durch einen militärischen M-Code ersetzt werden, der mittels BOC-Modulation dem Hochfrequenzträger aufmoduliert wird. Der M-Code ist nicht auf den zivilen C/A-Code angewiesen. Damit können die USA den zivilen Gebrauch von GPS jederzeit vollständig oder regional unterbinden, ohne dass es zu Einschränkungen für den militärischen Gebrauch kommt.

Aus rein ziviler Sicht sind folgende Aspekte der GPS-Modernisierung von Bedeutung:

- Ziviler Code auf L2 (L2C-Code)

Seit 16. Dezember 2005 strahlt ein erster Block IIR-M-Satellit ein ziviles Signal auf L2 aus. Zwar wird schon seit längerer Zeit von zivilen geodätischen Zweifrequenzempfängern das militärische L2-Signal benutzt (s. dazu z.B. [12]). Dieses umständlich rekonstruierte L2-Signals hat jedoch ein relativ schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis. Mit dem neuen zivilen L2-Signal wird GPS zukünftig ein vollwertiges Zweifrequenz-System sein [7].

<sup>3</sup> Es geht dabei **nicht** um Genauigkeit!!

- Zusätzliches ziviles Signal auf L5  
Etwa ab 2007 soll ein weiteres ziviles Signal auf L5 (Mittenfrequenz 1176,45 MHz) ausgestrahlt werden. Für die Einführung dieses Signals gibt es folgenden Grund: Das GPS-L2-Signal liegt in einem Frequenzband, in dem Radare die primären Nutzer darstellen. GPS hat als sekundärer Nutzer des Bandes keinen Anspruch gegen Störungen durch Radar. Daher wird der Gebrauch des L2-Signals von den Flugsicherungsbehörden nicht zugelassen. Durch die Bereitstellung eines zivilen Signals im L5Band wird dieser Mangel behoben. Zudem ist der größere Frequenzabstand (L5 – L1) gegenüber (L2 – L1) geringfügig besser für die Bestimmung ionosphärischer Laufzeitfehler. Vor allem aber ist durch einen neu entwickelten Code für dieses Signal, mit einer deutlich höheren Genauigkeit der Pseudostreckenmessung zu rechnen.  
Mit diesen Signalen wird GPS zu einem zivilen Dreifrequenzsystem. Für Anwendungen, bei denen durch Auswertung von Trägerphasenmessungen höchste Genauigkeiten (Zentimeter und besser) angestrebt werden, eröffnen sich damit bei GPS die Möglichkeit *Triple Carrier Phase Ambiguity Resolution* Techniken (TCAR) anzuwenden, um damit zu schnelleren und zuverlässigeren Lösungen des Mehrdeutigkeitsproblems zu kommen [7].

### 2.3 Gemeinsame Nutzung der zivilen GPS- und der kostenfreien Galileo-Signale

Die Frequenzen von Galileo und GPS sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz 1,023 MHz. Es gibt zwei Frequenzen, die von den Systemen gemeinsam genutzt werden:

1575,42 MHz für Galileo L1 und GPS L1,  
1176,45 MHz für Galileo E5a und GPS L5.

Bei Verwendung geeigneter Modulation und Codes können diese Frequenzen von beiden Systemen ohne gegenseitige Störungen genutzt werden. All dies erleichtert die Entwicklung von kombinierten GPS/Galileo-Empfängern.

Die offenen Galileo-OS-Signale L1 und E5ab erlauben „Sub-Carrier Tracking“. D.h. es können Pseudostrecken und Trägerphasen auf E5ab, E5a und E5b gemessen werden. Zusammen mit L1 stehen also bei Galileo im kostenfreien Dienst Signale 4 verschiedener Frequenzen zur Verfügung, was dann MCAR (*Multiple Carrier Ambiguity Resolution*) ermöglicht.

Im modernisierten GPS gibt es in allen drei Frequenzbereichen kostenfreie zivile Signale. Dies ermöglicht TCAR-Techniken.

Bei gemeinsamer Nutzung von GPS und Galileo werden in Europa jederzeit zwischen 10 bis 15 Satelliten gleichzeitig verfügbar sein. Deswegen und da kostenfreie Signale in drei Frequenzbereichen verfügbar sind ist die Redundanz einer Navigationslösung so hoch, dass durch statistische Testverfahren im Empfänger sehr sicher geprüft werden kann, ob eine Navigationslösung zuverlässig ist (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*). Damit stellt sich die Frage, ob und in welchem Umfang kosten-

pflichtigen Galileo-Signale benötigt bzw. angenommen werden.

## 3 Galileo-Finanzierung

### 3.1 Infrastrukturmaßnahme GNSS

In einem Hearing des britischen Unterhauses (Transport Committee) machte Air Commodore Norman Bonnor (Präsident des Royal Institut of Navigation) folgende Aussage: „Ich sage, dass ein Globales Navigations-Satelliten-System Basisinfrastruktur ist, es ist das gleiche wie Straßen und Eisenbahnen“ [13]. Wenn man sich vor Augen führt, in welchem Umfang GPS – in dem meisten Fällen kaum bemerkt – Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden ist [14, 15], kann man dieser Aussage nur zustimmen.

In Zeiten knapper öffentlicher Haushalte wird immer häufiger die Finanzierungsform Public Private Partnership (PPP) zur Finanzierung von Infrastrukturmaßnahmen gewählt. PPP gibt es z.B. in den Bereichen Verkehrswesen, Gesundheitswesen, Bildungswesen, Justiz (privat betriebene Gefängnisse in Hessen!). So ist auch die Infrastrukturmaßnahme Satellitennavigation ein Kandidat für PPP.

#### 3.1.1 Staatlich finanziertes GPS

In den USA hat es nie Zweifel darüber gegeben, dass das militärisch initiierte, aber von Beginn an auch für den zivilen Gebrauch konzipierte GPS, staatlich zu finanzieren ist.

Wissenschaftler aus aller Welt waren seit der Einführung von GPS an GPS-Forschungsarbeiten beteiligt. Zahlreiche von militärischen und zivilen US-Behörden gesponserte öffentliche Symposien waren die Orte, in denen Erfahrungen ausgetauscht und Entwicklungen vorangetrieben wurden. Der bekannte Erfolg von GPS hat auch in dieser Politik des offenen Erfahrungsaustauschs seine Wurzeln. Insbesondere die zivilen Anwendungsfelder von GPS entwickelten sich dabei quasi von ganz alleine. Schätzungen gehen davon aus, dass heute das zahlenmäßige Verhältnis zwischen militärischen und zivilen Anwendungen in der Größenordnung 1:100 steht. Auch zivile GPS-Empfänger werden überwiegend von US-amerikanischen Firmen produziert. Durch die dabei anfallenden Steuereinnahmen ergibt sich zumindest in Teilen ein Ausgleich für den US-amerikanischen Steuerzahler. Dies ist einer der Gründe, aus denen der kostenfreie Zugang zu GPS für zivile Anwendungen öffentlich nie in Frage gestellt wurde.

#### 3.1.2 Gebührenfinanziertes Galileo

Die sich schleichend einstellende Abhängigkeit Europas von GPS führte zu Galileo [1]. Neben politisch strategischen Aspekten wurde dabei immer damit argumentiert, dass eine solches System auch ein volkswirtschaftlicher Gewinn sei, dass aber auch betriebswirtschaftliche Gewinne zu erzielen seien. Dieser Argumentation schloss sich die Europäische Kommission in der Communication vom Februar 1999 an und schlug vor, Galileo im Wege

einer PPP zu finanzieren. Die Kommission stützt ihre Entscheidung für die PPP auf ein Gutachten der Firma PricewaterhouseCoopers (PwC) vom November 2001. Die 17-seitige Executive Summary ist im Internet veröffentlicht [16].

Das PwC-Gutachten kommt u. a. zu folgenden Ergebnissen: den totalen Kosten von 3,9 Mrd € steht ein Nutzen von 17,8 Mrd € gegenüber. Dies ergibt den günstigen Kosten/Nutzen Quotient von 4,6.

Das Gutachten unterscheidet „*user benefits*“ und „*social benefits*“. Es prognostiziert „*benefits*“ aus der Kontrolle der Luftverkehrs, aus der Navigation in der Marine und Landfahrzeugnavigation prognostiziert. Die größten und sichersten „*benefits*“ sollen aus der Luftfahrt und der Marineindustrie kommen.

### 3.2 Das PwC-Finanzierungsmodell für Galileo

Galileo soll nach dem PwC-Gutachten einige Jahre nach seinem endgültigen Aufbau (ab 2015) ohne öffentliche Gelder betrieben und laufend gehalten werden. Die Mittel dazu sollen aus zwei Quellen kommen:

1. Für jeden Chip, der in einen Galileo-Empfänger eingebaut wird, zahlt der Hersteller des Empfängers eine – wenn auch geringe – Gebühr an den Betreiber von Galileo<sup>4</sup>.
2. Es werden Gebühren auf Dienste erhoben, die von Service Providern bereitgestellt werden.

Das Volumen der Einnahmen aus den Gebühren wird ab 2020 auf 515 Mio €/Jahr geschätzt. 288 Mio € sollen aus *Personal Communication and Location*, 100 Mio aus *Commercial Aviation* kommen.

### 3.3 Die Suche nach Galileo-Kunden

In dem PwC-Gutachten wird gefordert, zur Sicherung der kommerziellen Überlebensfähigkeit von Galileo Firmen anzuregen, Dienste anzubieten die auf Galileo angewiesen sind. Das für den Aufbau von Galileo zuständige europäische, öffentlich-rechtliche Unternehmen Galileo Joint Undertaking (GJU) sucht daher in einen Aufruf nach einem Unternehmen, das Public-Relations-Aufgaben für Galileo übernimmt. Außerdem hat GJU ein Forschungsprogramm mit einem Volumen von 110 Mio € aufgelegt. Ziel dieser Maßnahmen – auch des Forschungsprogramms – ist es das *Entstehen* von Galileo-Anwendungen zu fördern<sup>5</sup> [16]. Es geht also darum neue Bedürfnisse zu wecken und zu erforschen, nicht darum vorhandene Probleme zu lösen. Anders ausgedrückt: Galileo ist „*technology-driven*“, nicht „*user-pulled*“.

#### 3.3.1 PR-Aktivitäten

Teil der PR-Aktivitäten sind Konferenzen, auf denen für Galileo geworben wird. Genannt seien hier folgende Veranstaltungen.

Brüssel 3/2003, Darmstadt 8/04, Berlin 9/2004, Berlin 5/05, Brüssel 9/05, Brüssel 12/05, Oberpfaffenhofen (DLR) 12/05, Darmstadt 3/06, Prag 4/06.

Ziel der Konferenzen ist es, insbesondere kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) eine Vorstellung von den Galileo-Möglichkeiten zu geben. Sie sollen klare Vorstellungen des Rahmens bekommen, innerhalb derer kommerzielle Anwendungen und Dienste für Galileo entwickelt werden können. Wie dies gemacht wird, soll an zwei Beispielen demonstriert werden

1. Fachtagung „Wie viele Satelliten braucht der Mensch?“ (Berlin, Mai 2005)

Klaus Peter Ludwig (Direktor für Außenbeziehungen bei EADS<sup>6</sup>) zeigt in seinem Vortrag „Galileo vs. GPS. Konkurrenz oder Ergänzung?“ u.a. die in Abb. 1 wiedergegebene Folie:

Einfacher kann man nicht verdeutlichen, in wie vielen Bereichen seit vielen Jahren GPS tagtäglich eingesetzt wird.

2. Brüssler Industrietag (September 2005)

Paul Verhoef (Leiter der Abteilung Satellitennavigationssysteme der EU) beschreibt in seinem Vortrag „Introduction on Galileo/EGNOS services for Regulated applications“ aktuelle Schwächen von GPS im Vergleich zu Galileo mit folgenden Stichworten (s.: [www.galileoju.com/page.cfm?voce=s2&idvoce=69&plugIn=1](http://www.galileoju.com/page.cfm?voce=s2&idvoce=69&plugIn=1))

*No civilian system, Only 1 signal for civil users, «Poor» performances, No guarantee, No integrity, No quality of service, No contractual operator, Need for a new, international system*

Es gibt kein Wort darüber, dass das heutige GPS-System beschrieben wird und dass es zivile Zweifrequenzempfänger gibt.

In dem gleichen Vortrag werden in einer Folie folgende Stichworte aufgeführt:

*A universe of services and applications  
Recreation, Location based services (LBS), Agriculture, Fisheries, Road transport, Maritime transport, Public Services, Aviation*

Es gibt kein Wort darüber, dass es schon heute ein *universe of services and applications* mit GPS gibt. Es wird nicht dargestellt, dass Galileo mit GPS konkurrieren muss (einschließlich der vorhandenen DGPS-Einrichtungen).

Fachtagungen, Industrietage und Anwenderkonferenzen werden veranstaltet, um insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) dafür zu gewinnen, Galileo-Aktivitäten zu entfalten. Sie sollen für Galileo gewonnen werden, weil mit Galileo ab einem bestimmten Zeitpunkt unter Einschaltung der KMU's soviel Geld verdient werden soll, dass Galileo auf öffentliche Gelder nicht mehr angewiesen ist. Typischerweise ist für diese KMU die Satellitennavigation Neuland. Sie werden daher zunächst einmal den Informationen vertrauen, die von der Industrie und der EU gegeben werden. Diese Informationen sind leider häufig Fehlinformationen.

Zu den weiteren PR-Aktivitäten gehört es, PR-Agenturen dafür zu gewinnen, auch in Fachzeitschriften Galileo ins rechte Licht zu rücken (s. dazu z.B. die von einer PR-Agentur verfassten Beiträge [3, 4], deren Werbecharakter

4 Streng genommen zahlen also alle Galileo-Nutzer. Auch die Nutzer des OS.

5 „the objective of FP6 is to foster the emergence of applications“

6 „Die EADS Astrium ist der führende Satellitenspezialist in Europa“. Aus einer Firmenbroschüre.



Abb. 1: Galileo's neue und innovative Anwendungen

(„ascos, der Satellitenreferenzdienst der E.ON Ruhrgas AG, (setzt) schon heute Maßstäbe in Sachen Präzision und Zuverlässigkeit“) und deren unreflektierte Übernahme von GJU Informationen (100 000 qualifizierte Arbeitsplätze durch Galileo) ärgerlich sind.

### 3.3.2 Forschungsprogramme

GJU hat zur Erforschung von Galileo-Anwendungen folgende Programme aufgelegt:

ADvantis, SCORE, VERT, MARGAL

#### – ADvantis

Ziel von Advantis ist es Positionsinformationen von zu überwachenden Personen und/oder Fahrzeugen zur Verfügung zu stellen. Diese Informationen sollen garantiert sein (integritäts-garantiert, haftungskritisch). Leser die mehr über ADvantis wissen wollen, seien auf die Internetseite von ADvantis (<http://www.galileo-advantis.com/>) hingewiesen. Dort findet man folgenden Hinweis

„Die Implementierung von ADvantis wird eine Anzahl sozialer Nutzen wie z.B. die folgenden produzieren

- Reduktion von Verschmutzung und Verkehrsstaus
- Wohnlichkeit (Liveability)
- Umweltschutz
- Erheben gerechterer Versicherungspolice“

In [18] werden für ADVantis folgende Anwendungen vorgeschlagen

- Elektronische Fussfessel zur Überwachung potentieller Straftäter und für auf Bewährung entlassene Straftäter.
- Kfz-Haftpflichtversicherung nach Fahrleistung einschließlich permanenter Überwachung des Kfz. Zusätzlich das Auslösen eines Alarms bei einem Unfall.
- Reduktion von Staus, Verspätungen, Unfälle und Verschmutzungen

#### – SCORE: Service of Coordinated Operational emergency and Rescue using EGNOS

Das Projekt ist dem Gebrauch von EGNOS/Galileo im Zusammenhang mit Notdiensten gewidmet (E-112 Ruf).

#### – VERT: Vehicular Remote Tolling

In dem Projekt wird die Einführung einer Mauterhebung, die sich auf die kostenpflichtigen Galileo-Signale stützt, erforscht.

#### – MARGAL: Seamless Harmonised Service

Es sollen Möglichkeiten zur Einführung von Galileo-Diensten für Häfen und Binnenwasserstrassen untersucht werden. Angestrebt ist, identische Servicequalitäten für die Hochseeschifffahrt und die Binnenschifffahrt zur Verfügung zu stellen.

Umfassende Informationen über Nutzeranforderungen an Navigationssysteme sind im Deutschen Funknavigationsplan [19] zusammengestellt. An Hand dieses Dokumentes kann gezeigt werden, dass den zu erforschenden Anwendungen folgendes gemeinsam ist:

- Die Positionsgenauigkeit des OS ist fast immer ausreichend,
- Kritisch könnte die Zuverlässigkeit der Positionsinformation sein.

Zu dem Problem „Zuverlässigkeit“ sei auf Abschnitt 2.3 hingewiesen. Weiter sollte man zu Kenntnis nehmen, dass GPS gestützte Mauterhebung – mit GPS-L1-Empfängern – für LKW in Deutschland mehr als zufrieden stellend funktioniert. So stellte es jedenfalls auf dem Brüsseler Industrietag 2005 ein Vertreter der deutschen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung dar [20]. Schließlich sei noch erwähnt, dass es in ganz Europa – auch für Binnenwasserstrassen – den für jedermann kostenfreien Marine-DGPS-Dienst gibt, der auch Integritätsinformationen zur Verfügung stellt.

## 4 Einschätzung der zu erwartenden Einnahmen

Wie nicht anders zu erwarten bleibt das PwC Gutachten nicht unwidersprochen. Einige Widersprüche sollen hier zitiert werden sowie der Versuch einer eigenen Einschätzung vorgenommen werden.

### 4.1 Widerspruch der Airline Organisationen

Die einschlägigen Airline Organisationen führen in einer gemeinsamen Stellungnahme vom 1. Juli 2003 aus [21]: *Any potential Galileo Service Provider should not rely on the PwC Study in assessing potential revenues to be derived from aviation. As well, the airspace users stress that they oppose pre-financing the Galileo system either directly or indirectly via contributions from Air Traffic Service Providers to the Galileo Public Private Partnership*

### 4.2 Widerspruch des britischen Unterhauses

In dem oben schon zitierten Bericht des britischen Unterhauses [13] wird der britische Transportminister zitiert: (Ziffer 19 des Reports)

*„...but the report failed to consider that most commercial aircraft are already able to perform RNAV operations using systems such as GPS/EGNOS. The report appears also to have misunderstood how the benefits of Galileo could be realised through the air navigation charge.“*

Es werden Zweifel darüber geäußert, dass aus dem Marine-Bereich wesentliche Einnahmen zu erwarten sind: (Ziffer 16 des Reports):

*Captain Duncan Glass of Trinity House told us that „from the point of view of the maritime user who has embraced GPS thoroughly since its introduction, there is not much that Galileo can offer that he has not already got“.*

In Ziffer 33 des Reports werden grundsätzliche Bedenken dahingehend geäußert, dass mit Galileo Geld verdient werden kann:

*Mr Peter Blair, the former Technical Director of the defence systems company, Racal Electronics, said he found difficulty in seeing money coming in from the subscription services when a good service would be available free from GPS and the Galileo open service.*

Die Kritik an dem PwC Gutachten geht noch sehr viel weiter. Der letzte Satz von Ziffer 24 des Reports lautet: *We are not convinced that the costs and benefits have been properly assessed. The Government should not go ahead with the programme until a further, independent, cost benefit analysis has been undertaken.*

Das britische Parlament gibt damit deutlich zu verstehen, dass es dem PwC-Gutachten sehr kritisch gegenüber steht.

### 4.3 Einschätzungen des Verfassers

GJU hat auf verschiedenen Galileo-Konferenzen durch verschiedene Vortragende auch die in Abbildung 2 wiedergegebenen Folien präsentiert.

Man kann also davon ausgehen, dass in dieser Folie die Galileo-Anwendungen dargestellt sind, die von GJU in erster Line erwartet werden. In aller Kürze soll diskutiert werden, welche dieser Anwendungen nach Einschätzung des Verfassers auf gebührenpflichtige Galileo-Signale angewiesen sind. Die Diskussion folgt der in der Folie gegebenen Gliederung und Terminologie.

#### 4.3.1 Safety of Life

Aviation:

In dem schon zitierten Papier der Airline Organisationen wird ausgeführt [20]

*The Required Navigation Performance (RNP) accuracy and integrity requirements for aviation safety applications are fulfilled with multi-sensor systems, as already avail-*

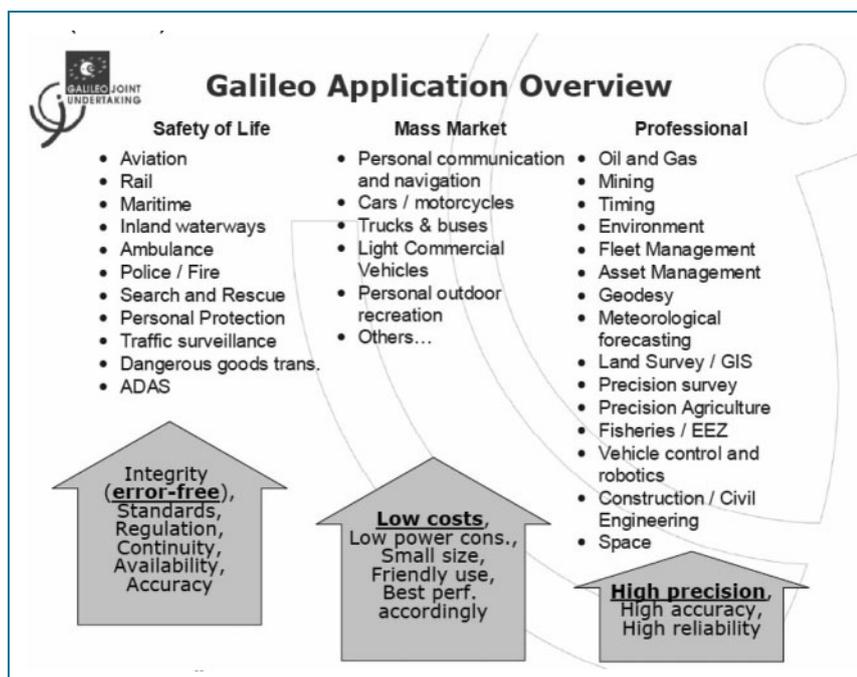


Abb. 2: Übersicht über Galileo-Anwendungen nach GJU

able on today's aircraft. The requirements for more safety critical precision approach, landing and ground movement applications can be fulfilled with the Open Access Service when used with the multi-sensor systems, as already available on today's aircraft, supplemented by a Ground Based Augmentation System (GBAS).

*Rail:*

Es ist technisch denkbar, dass Eisenbahnverwaltungen beim Steuern von Bahnübergängen, bei der Verringerung von Zugabständen und ähnlichem mehr GNSS einsetzen. Dann ist natürlich allerhöchste Sicherheit (Integrität) geboten

*Marine, Inland Waterways*

Im Deutschen Funknavigationsplan sind einzelne Anwendungen aus dem maritimen Bereich aufgeführt, die mit relativ hohen Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit verbunden sind. Manches davon lässt sich durchaus mit moderner terrestrischer Technologie erledigen (z.B. automatisches Anlegen). Immer aber sind es sehr spezielle Anwendungen, deren geringer Umfang keine wesentliche Gebühreneinnahme erwarten lässt.

*Ambulance, Police/Fire, Search and Rescue, Personal Protection.*

Diese Anwendungen benötigen weder eine hohe Positionierungsgenauigkeit noch eine extrem hohe Zuverlässigkeit. In den genannten Anwendungen werden Positionsdaten in erster Linie für das Flottenmanagement gebraucht. Schon heute wird mit GPS 1-Frequenzempfängern in diesen Bereichen erfolgreich gearbeitet.

*Traffic Surveillance, Dangerous Goods*

Bei beiden Anwendungen geht es darum, Informationen über den Standort von entsprechenden Fahrzeugen zu haben. Für diese Anwendungen gilt das oben Genannte.

*ADAS (Advanced Driving Assistance System)*

ADAS ist ein System, das Fahrer eines Kfz über Gefahren informiert und erforderlichenfalls eine teilweise oder die vollkommene Kontrolle über das Fahrzeug übernimmt. Auf einer der Galileo – EU – Internetseiten wird die Erwartung geäußert, dass die Hälfte aller Fahrzeuge, die im Jahr 2020 in Europa unterwegs sind, mit diesem System ausgestattet sein wird. Derartige Zukunftsprognosen sind immer problematisch. Dem Verfasser fehlen zu dieser Prognose belastbare Hintergrundinformationen.

#### 4.3.2 Mass Market

Auch GJU geht davon aus, dass die unter „Mass Market“ genannten Anwendungen keine gebührenpflichtigen Signale benötigen.

#### 4.3.3 Professional

*Timing, Geodesy, Meteorological forecasting, Land Survey, Vehicle control, Construction/Civil Engineering*

Diese Anwendungen sind auf Trägerphasenmessungen, überwiegend mit differentieller Auswertung angewiesen. Heinz Hilbrecht (Direktor der Generaldirektion Energie und Verkehr in der Europäischen Kommission) hat dem Verfasser auf Anfrage mitgeteilt: „Die derzeitige Position der Kommission ... ist, dass der offene Galileo Service, ... , kostenlos von allen genutzt werden kann, also auch für

kommerzielle Zwecke (wie z.B. die Erzeugung und Vermarktung von Korrekturdaten für die Landesvermessung)“. Das macht deutlich, dass Trägerphasenkorrekturen des offenen Galileo-Signals genau so erzeugt werden können, wie die des derzeitigen GPS-Signals. Damit sind Anwendungen, die auf Trägerphasenmessungen angewiesen sind nicht geeignet, Einnahmen für den Galileo-Betreiber zu generieren.

*Environment, Fleetmanagement, GIS, Fisheries, EEZ (Exclusive Economical Zone)*<sup>7</sup>

Bei diesen Anwendungen liegen die Anforderungen an die „Accuracy“ (Genauigkeit) im Bereich einiger Meter<sup>8</sup>. Die Anforderungen an die „Reliability“ (Zuverlässigkeit) sollen nicht unterschätzt werden, sind jedoch nicht kritisch. Z. Zt. wird GPS in allen aufgeführten Anwendungen zufrieden stellend angewandt.

*Oil and Gas, Mining, Precision Agriculture*

Hier werden Genauigkeiten im Submeterbereich benötigt. Dies kann voraussichtlich mit einem kostenpflichtigen Galileo-Signal erreicht werden. Dieses Signal steht dann aber in Konkurrenz zu den kostenpflichtigen Signalen der D-GNSS-Dienste.

*Asset Management, Space*

Der Verfasser traut sich hier kein Urteil zu. Es sei aber angemerkt, dass die bei „Asset Management“<sup>9</sup> relevanten Zeitinformationen im Zusammenhang mit Finanztransaktionen nicht nur über Galileo, sondern auch über GPS und die traditionellen Zeitdienste (in Deutschland der Zeitdienst der Physikalisch Technische Bundesanstalt) bereitgestellt werden. Bei der Raumfahrt liegen meist Sonderanwendungen vor, die spezielle Lösungsansätze umfassen.

## 5 Schlussfolgerungen

Aus Sicht des Verfassers spricht sehr viel dafür, dass die im PwC-Gutachten prognostizierten Einnahmen aus den Gebühren der kostenpflichtigen Galileo-Signale nicht zu erreichen sind<sup>10</sup>. Owen M. Goodman (Chief operating officer Fugro, N.V.) hat in einem Interview mit *European Journal of Navigation* (Volume 2, Number 2, May 2005) dies mit der Aussage: „No Commercial Business for Galileo“ beschrieben. Sicher ist, dass das PwC-Gutachten von 2001 überholt ist: schon allein deswegen, weil wichtige in dem Gutachten geforderte Termine nicht eingehalten wurden. Man könnte also auf die Idee kommen, durch ein neues Gutachten das aus dem Jahr 2001 stammende PwC-Gutachten fortzuschreiben. Der Verfasser hat allerdings Zweifel daran, dass sich dadurch wirklich neue Erkenntnisse ergeben werden. Das „Problem“ von Galileo hat einen Namen: Das gebührenfreie, modernisierte zivile

<sup>7</sup> Ausschließliche Wirtschaftszone: Der Teil der Küstengewässer, in denen die Anliegerstaaten besondere Rechte haben.

<sup>8</sup> Bei speziellen GIS-Anwendungen kann es Ausnahmen geben.

<sup>9</sup> Eine Finanzdienstleistung.

<sup>10</sup> Auf der 2. Galileo-Anwenderkonferenz in Darmstadt (22. März 2006) wurde zum Abschluss der Veranstaltung eine Folie mit dem Satz „Galileo sucht (verzweifelt) Anwendungen“ gezeigt!

GPS. Es wird verhindern, das Galileo eine Goldgrube sein wird, jedenfalls nicht für den Steuerzahler.

Abweichend von dem PwC-Gutachten geht man heute häufig von 4,3 Mrd. € für den Aufbau von Galileo aus. Nach dem Aufbau fallen Kosten für dessen Unterhaltung und Laufendhaltung an. Die Frage, wie diese Kosten aufgebracht werden sollen, ist zu wichtig, als dass man sie der EU-Verwaltung überlassen kann.

Nach dem Austausch von E-Mails und Gesprächen mit deutschen Europaparlamentariern der einschlägigen Fachausschüsse, unter dem Eindruck der im Zusammenhang mit Galileo betriebenen Öffentlichkeitsarbeit (s. dazu z.B. die Beispiele in der Einleitung zu diesem Beitrag sowie die aktuellen Internetauftritte der Bundesregierung) hat der Verfasser den Eindruck, dass weder die Öffentlichkeit, noch die zuständigen Parlamente, geschweige denn der Steuerzahler über das, was Galileo kann und was es nicht kann und die daraus resultierenden finanziellen Risiken hinreichend informiert sind. Hier könnte eine öffentliche Diskussion in Form eines Hearings im europäischen Parlament nach dem Vorbild des britischen Parlaments Abhilfe schaffen. Ohne eine neue Bewertung der wirtschaftlichen Chancen von Galileo durch das europäische Parlament ist die Erteilung der Konzession zum Betrieb von Galileo wegen der hohen Risiken für den Steuerzahler politisch fahrlässig. Die Parlamentarier sollten sich durch *unabhängige* Sachverständige darüber lassen informieren was Galileo kann und was es nicht kann und welche finanziellen Risiken es in sich birgt. Sie könnten dann sehr viel besser als im Augenblick entscheiden ob Galileo das ist, was es nach Auffassung des Verfassers in erster Linie ist: eine zwar von der Industrie forcierte aber *dennoch politisch sinnvolle* Infrastrukturmaßnahme, auf die ein modernes, industriell geprägtes Europa, dass auf politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit wert legt, nicht verzichten sollte und für die Europa bereit ist in vollem Umfang die Kosten zu übernehmen, da alles andere illusorisch ist.

## Literatur

- [1] EUROPEAN COMMISSION (1999): Galileo. Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services. Internet
- [2] EISSFELLER, B. (2004): Galileo: Das europäische Satellitennavigationssystem. Galileo ist noch genauer als GPS, doch die Politik verzögert das Projekt. Bulletin SEV/VSE 17/04
- [3] DAVID, H. (2005a): GALILEO – der Countdown hat begonnen. AVN 10/2005
- [4] DAVID, H. (2005b): Galileo – Europas Zukunftsprojekt Nr. 1 Wirtschaftliche Aspekte. Der Vermessungsingenieur 6/2005
- [5] RÜFFER, J.; HEMMERT, J. (2005): „Galileo meets Geodesy“ Was bringt uns Galileo für die GNSS-Anwendung in der Geodäsie. Der Vermessungsingenieur 6/2005
- [6] BADSTÜBER, D. (2005): Mit Galileo ins Kataster – wird GPS und GLONASS überflüssig? Der Vermessungsingenieur 6/2005
- [7] SCHÜLER, T.; IRSIGLER, M.; KRUEGER, E.; HEIN, G. W. (2005): GALILEO – Das Satellitennavigationssystem Europas und sein Nutzen für die Hydrographie. Schriftenreihe des DVW, Band 47/2005
- [8] ESA (2001): Galileo System Requirements Document. Internet
- [9] THE WHITE HOUSE (OFFICE OF THE VICE PRESIDENT) (1998): Vice President Gore announces enhancements to the global positioning that will benefit civilian users worldwide. Internet
- [10] BECKER, M. (2006): GPS Modernisierung und ihre Auswirkungen. Schriftenreihe des DVW, Band 49/2006
- [11] PANG, J.; VAN GRAAS, F.; STARZYK, J.; ZHU, Z. (2003): Fast direct GPS P-Code acquisition. GPS Solutions. Springer Berlin/Heidelberg
- [12] BAUER, M. (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Wichmann Verlag. Heidelberg
- [13] HOUSE OF COMMONS, TRANSPORT COMMITTEE (2004): Galileo. Eighteenth Report of Session 2003–04 Report, together with formal minutes, oral and written evidence Ordered by The House of Commons to be printed 17 November 2004. Internet
- [14] VOLPE, J. A. (2001): Vulnerability Assessment of the Infrastructure relying on the Global Positioning System. Internet
- [15] HELIOS TECHNOLOGY (2004): Recommendations towards a European Union Radionavigation Plan (ERNP) – Executive Summary. Internet
- [16] PRICEWATERHOUSECOOPERS (2001): Inception Study to Support the Development of a Business Plan for the GALILEO Programme TREN/B5/23-2001 – Executive Summary. Internet
- [17] GJU (2005): Galileo Joint Undertaking launches Call for Research and Development Activities. Press release 15th December 2005 (GJU/05/8512/DL/HPM/rod). Internet
- [18] MASSON-ZWAAN, T. L. (2005): The ADvantis Project: A Galileo Spin-off. European Journal of Navigation Vol., 3, Number 3
- [19] TELEMATICA, VEGA Informationstechnologien, BLIC, Institut für Seeverkehr Schiffsbetrieb und Simulation und TU Dresden (1999): Deutscher Funknavigationssplan. <http://www.bmvbs.de/dokumente/,-19924/Artikel/dokument.htm>
- [20] RUIDISCH, P. (2005): HGV tolls in Germany: innovative, environmentally, friendly and fair. (Federal Ministry of Transport, Building and Housing). <http://www.galileoju.com/page.cfm?voce&equals;s2&idvoce=69 &plugIn=1>
- [21] ASSOCIATION OF EUROPEAN AIRLINES (AEA), EUROPEAN REGIONS AIRLINE ASSOCIATION (ERAA), INTERNATIONAL PRIVATE AIRCRAFT OWNER ASSOCIATION (IAOPA), INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA) (2003): Galileo SatNav: Airspace Users Position Paper (1st July 2003). Internet

Anschrift des Verfassers  
 Prof. Dipl.-Ing. MANFRED BAUER  
 HafenCity Universität Hamburg, Departement Geomatik  
 Hebebrandstraße 1, 22297 Hamburg  
 E-Mail: m.bauer@rzc.haw-hamburg.de

## Die BOC-Modulation

BOC ist das Akronym für Binary Offset Carrier. Die BOC-Modulation wurde von BETZ (1999) im Zusammenhang mit der Modernisierung des US-amerikanischen GPS vorgeschlagen. Eines der Ziele der GPS-Modernisierung ist, zivile und militärische Nutzung vollständig voneinander zu trennen. Da zusätzliche Frequenzen für GPS nur in sehr beschränktem Umfang zur Verfügung stehen, muss nach einer Lösung gesucht werden, bei der zivile und militärische GPS-Signale so weit wie möglich getrennt werden ohne zusätzliche Frequenzen in Anspruch zu nehmen. Dies ist durch die BOC-Modulation möglich. BOC-Modulation ist ein Sonderfall der Modulation durch binäre Phasenumtastung (BPSK-Modulation). Bei der bei GPS verwendeten BPSK-Modulation wird das Satellitensignal nach Maßgabe einer PRN-Folge mit der Chip-Rate  $f_c$  moduliert. Bei der BOC-Modulation wird das so modulierte Signal einer weiteren Phasenumtastung unterzogen. Sie erfolgt nach Maßgabe eines Rechtecksignals mit den sich periodisch verändernden Amplituden

$$+1, -1, +1, -1, +1, -1, +1, -1, \dots \quad (1)$$

(SinBOC – Modulation)

oder mit den Amplituden

$$+1, -1, -1, +1, +1, -1, -1, +1, \dots \quad (2)$$

(CosBOC – Modulation)

Die Erzeugung dieser Amplitudenfolgen wird mathematisch wie folgt beschrieben:

$$S_{\sin BOC}(t) = 1 \cdot \text{Vorzeichen}[\sin(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)] \quad (3)$$

$$S_{\cos BOC}(t) = 1 \cdot \text{Vorzeichen}[\cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)] \quad (4)$$

Zum Verständnis sei mitgeteilt, dass die Funktion *Vorzeichen* bei positivem Argument den Wert „+“, bei negativem Argument den Wert „-“ annimmt.

Durch (3) und (4) wird deutlich, dass Amplitudenfolgen mit der Frequenz  $f_s$  erzeugt werden.  $f_s$  wird Unterträgerfrequenz genannt.

In Abbildung 1 ist als Beispiel das Prinzip einer sinBOC-Modulation dargestellt. In der Abbildung ist zunächst der Graph einer PRN-Folge (Code-Rate  $f_c$ ) dargestellt. Darun-

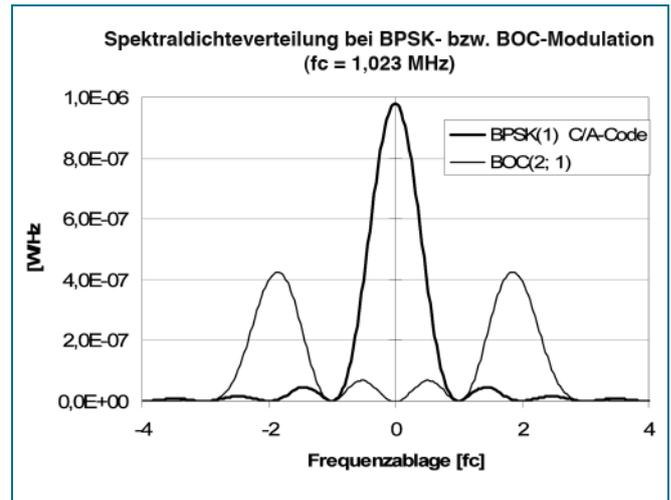


Abb. 2: Spektraldichteverteilung (linearer Maßstab)

ter ist ein sinBOC Rechtecksignal dargestellt, dessen Frequenz  $f_s$ , mit der Code-Rate  $f_c$  übereinstimmt. Schließlich ist die sinBOC modulierte PRN-Folge dargestellt.

Die bei einer SinBOC-Modulation sich ergebende Spektraldichteverteilung wird mit den Parametern  $f_c$  (Code-Rate) und  $f_s$  (Unterträgerfrequenz) durch folgende Formel beschrieben [1, 2]:

$$G(f)_{\sin BOC} = f_c \cdot \left[ \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot df}{2f_s}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot df}{f}\right)}{\pi \cdot df \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot df}{2f_s}\right)} \right]^2, \quad \frac{2 \cdot f_s}{f_c} = k \text{ gerade}^1 \quad (5)$$

In (5) ist  $df$  die Abweichung von der Zentralfrequenz. Wenn man die Funktion (5) graphisch darstellt erkennt man eine Spektraldichteverteilung  $G(f)$ , die durch zwei Maxima symmetrisch ober- und unterhalb der Zentralfrequenz gekennzeichnet ist.

Auch wenn eine BOC-Modulation als Sonderfall einer BPSK-Modulation anzusehen ist, wird im allgemeinen die Bezeichnung „BPSK-Modulation“ für die BPSK-Modulation ohne weitere Modulation, die Bezeichnung BOC-Modulation für eine zweistufige BPSK-Modulation verwendet.

1 für  $k$  ungerade ergibt sich eine etwas andere Formel!

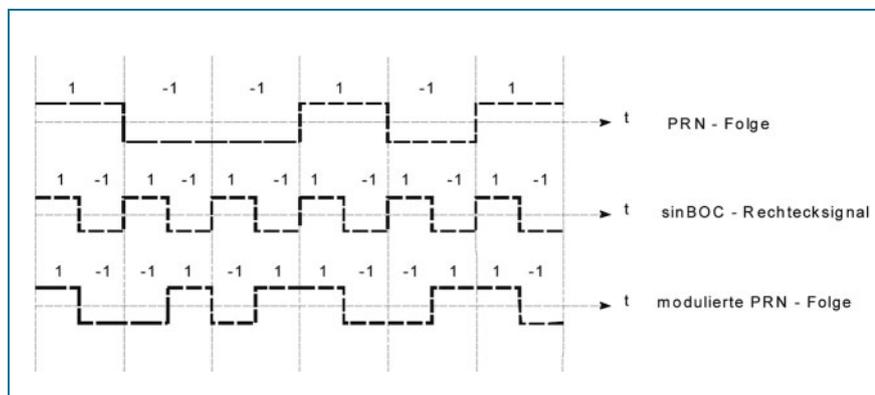


Abb. 1: Prinzip der BOC-Modulation

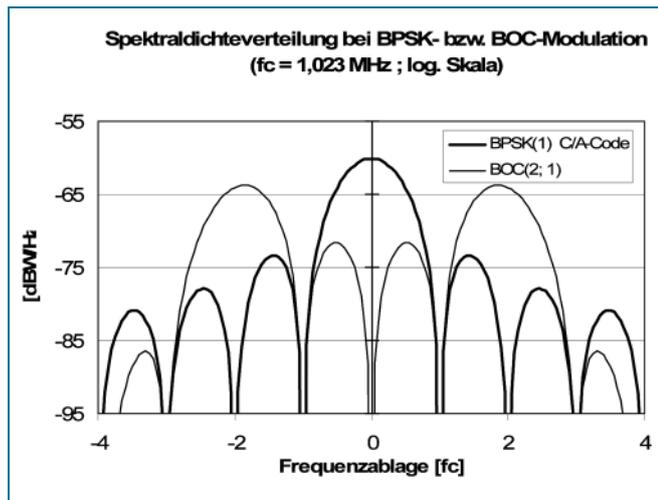


Abb. 3: Spektraldichteverteilung (log. Skala)

In der Abbildung 2 sind die Spektraldichteverteilungen, die sich nach einer BPSK- bzw. einer BOC-Modulation einer Zentralfrequenz ergeben, dargestellt. Die Spektraldichteverteilungen sind deutlich unterschiedlich.

Bei der bisher bei GPS angewandten BPSK-Modulation hat die Spektraldichtefunktion  $G(f)$  des modulierten Signals ein deutlich ausgeprägtes Maximum. Es liegt exakt bei der Zentralfrequenz des modulierten Signals, die ersten Minima liegen exakt bei  $\pm f_c$  (s. z.B. BAUER (2003)). Bei der BOC-Modulation ist die Spektraldichte der Zentralfrequenz gleich Null. Im gleichmäßigen Abstand von der Zentralfrequenz liegen die Maxima der Spektraldichte.

Die je nach Modulationsverfahren unterschiedlichen Spektraldichteverteilungen lassen es zu, dass unterschiedliche Nutzergruppen mit unterschiedlichen Modulationsverfahren die gleiche Trägerfrequenz nutzen können ohne sich gegenseitig zu stören.

In Abb. 2 ist die BSK-Modulation durch einen Parameter ( $n$ ), die BOC-Modulation durch zwei Parameter ( $m, n$ ) gekennzeichnet (BPSK(1); BOC(2,1)). Diese Parameter sind in Bezug auf eine zu vereinbarende Referenzfrequenz  $f_R$  wie folgt definiert:

$$m = \frac{f_s}{f_R}; n = \frac{f_c}{f_R} \quad (6)$$

Bei der Anwendung der BOC-Modulation auf GPS wurde aus Gründen der Zweckmäßigkeit als Referenzfrequenz die Standardfrequenz von GPS gewählt ( $f_R = 1,023$  MHz). Beim Aufbau eines zu GPS-compatiblen Galileo, das aus Gründen der Frequenzökonomie zum Teil die gleichen Trägerfrequenzen wie GPS nutzen muss, ist es sinnvoll, die gleiche Referenzfrequenz zu wählen. Daher wird in der GPS- und Galileo-Literatur als Notation einer BOC-Modulation, aber auch als Notation einer BPSK-Modulation meist die in der Abbildung gewählte Notation gewählt unter Beachtung von Gleichung (6) und der Referenzfrequenz 1,023 MHz.

Demnach hat die in dargestellte BOC(2,1) Modulation die Chip-Rate  $f_c = 1,02$  MHz. Für den Unterträger gilt  $f_s = 2,04$  MHz. Die BPSK(1) Modulation hat die Chip-Rate 1,023 MHz.

Bei der BOC(2,1) Modulation erkennt man in der Abbildung 2 zwei Maxima, die  $\pm 2 \cdot f_c$  von der Zentralfrequenz abweichen. Man kann zeigen, dass bei einer BOC-Modulation generell die Maxima bei  $\pm n \cdot f_c$  liegen, wobei für  $n$  Gleichung (6) gilt.

Abbildung 3 zeigt die Spektraldichteverteilung der Abbildung 2 in einer logarithmischen Darstellung. Die ist die in der Literatur meist gewählte Form der Darstellung.

## Literatur

- [1] BETZ, J. W. (1999): The offset Carrier Modulation for GPS Modernisation. Proceedings of ION 1999 Technical Meeting
- [2] REBEYROL, E.; MACABIAU, CH.; LESTARQUIT, L.; RIES, L.; ISSLER, J.-L.; BOUCHERT, M.-L.; BOUSQUET, M. (2005): BOC Power Spectrum Densities. Proceedings of ION 2005 San Diego CA