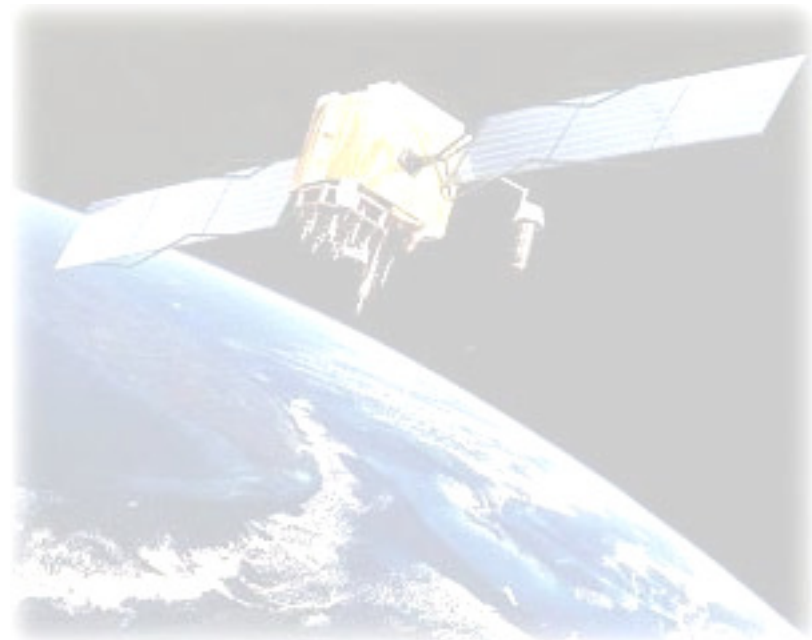


GPS/GLONASS und GALILEO aus Sicht eines geodätischen Geräteherstellers

Universität Stuttgart

03.07.2007, Christian Hilker



Inhalt

GNSS- Übersicht

- GPS/GLONASS /Galileo
- Galileo Receiver Prototyp: Projekt „Artus“

GNSS Signale und ihre Bedeutung für die Geodäsie

- Was kommt wann?
- Welche Signale lassen sich wie nutzen?

Das Leica „GNSS Future-Proof“ Konzept

- GNSS Vermessungsinstrumente der Zukunft

Global Navigation Satellite Systems

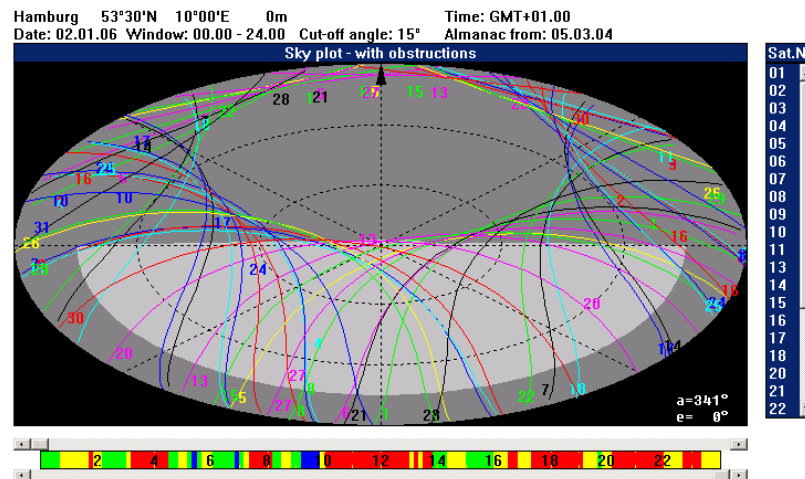
Existierende und zukünftige GNSS Systeme

- **NAVSTAR GPS**
 - USA, militärisches Positionierungssystem, entwickelt in den 1970ern
- **GLONASS**
 - Russische Antwort auf das GPS, entwickelt in den 1980ern
- **GALILEO**
 - Ziviles, europäisches GNSS, voraussichtlich ab 2012 operationell
- **Weitere regionale Satellitennavigationssysteme**
 - Beidou/Compass, China

Warum ist Multiple-GNSS für Vermesser interessant ?

Satellitenverfügbarkeit...

- zum Beispiel... in Hamburg
 - GPS Satelliten insgesamt: 28
 - ..davon durchschnittlich über dem Horizont: 7 (25%)
 - ..bei einer Abdeckung von 50%: 3 (13%)



Warum ist Multiple-GNSS für Vermesser interessant ?

Zukünftige Satellitenverfügbarkeit...

	# SV total	# SV visible	# SV visible (estimate)
GPS	28	7.0	3.7
GPS + Glonass	28+18	11.5	6.1
GPS+ Galileo	28+30	14.5	7.7
GPS + Glonass + Galileo	28+18+30	19.0	10.0

- Mit freiem Horizont ist GPS ausreichend
- Bei teilweise verdecktem Himmel sind zusätzliche Satelliten vorteilhaft
- 5 oder mehr Satelliten für RTK Positionen/Ambiguity fixing erforderlich

Warum ist GALILEO für Vermesser interessant ?

Galileo: Unabhängiges europäisches Satellitennavigationssystem

- Unabhängigkeit/Redundanz von anderen Navigationssystemen ist notwendig (aber derzeit nicht möglich (Flugzeug Navigation...))
 - Wird Russland auch langfristig den Bestand von GLONASS sichern?
 - GPS alleine ist nicht ausreichend
 - Die Abhängigkeit von GPS ist schon heute nicht zu unterschätzen:
 - z.b.: Computer-Netzwerke werden durch GPS zeitlich synchronisiert
- Wer garantiert die freie Verfügbarkeit von GPS Signalen in 2030?

Forschungsarbeit für zukünftige geodätische GALILEO Receiver

Das Projekt „ARTUS“ (Advanced Receiver Terminal for User Services)

- Projektübersicht
- Beiteiligte Unternehmen
- Beitrag der Leica Geosystems

Das Forschungsprojekt „ARTUS“

Allgemeine Informationen

- Projektdauer (in months) 24 months
- Gesamtkosten (in Euro) € 4.800.000
- Finanziert durch Galileo Joint Undertaking (GJU)

Die Ziele von „ARTUS“

- Das ARTUS Projekt soll Kerntechnologien untersuchen, die für die professionelle Entwicklung eines GALILEO Receivers erforderlich sind.
- Basierend auf den Forschungsarbeiten zu den Kerntechnologien soll ein GALILEO Receiver Prototype ‘ARTUS’ entstehen, der sowohl alle drei GALILEO Frequenzen als auch EGNOS unterstützt.
- Parallel hierzu ist die Entwicklung eines Signalsimulators ‘MERLIN’ mit 12 konfigurierbaren Kanälen vorgesehen, um den “ARTUS” Prototypen unter Laborbedingungen zu testen.
- Sowohl ARTUS als auch MERLIN sollen später als Prototypen kommerziell vermarktet werden

Forschungsprojekt “ARTUS”

Consortium Information

Organization Name	Country	SME	Total cost	Requested funding	total (%) of requested funding
IfEN GmbH	DE	Y	€ 1.054.965	€ 612.460	23,56%
Work Microwave GmbH	DE	Y	€ 1.098.928	€ 549.465	21,13%
University FAF Munich	DE	N	€ 100.000	€ 100.000	3,85%
Leica Geosystems	CH	N	€ 600.001	€ 300.001	11,54%
Nemerix SA	CH	Y	€ 1.100.000	€ 550.000	21,15%
ISMB	IT	N	€ 200.000	€ 100.000	3,85%
Roke Manor Ltd	UK	N	€ 516.104	€ 258.052	9,93%
Management Reserve			€ 130.000	€ 130.000	5,00%
TOTAL			€ 4.800.000	€ 2.599.977	100,00%

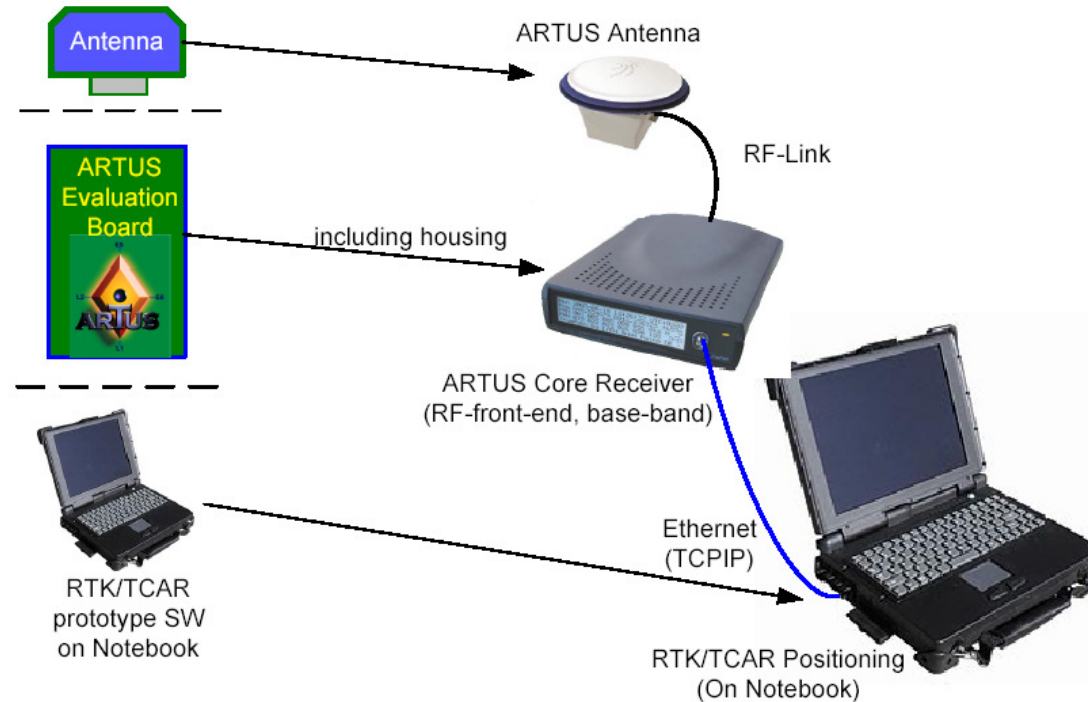
ARTUS Taskliste

- Entwicklung eines Prototypen für einen kombinierten Galileo / GPS Receiver
- Antennen-Entwicklung für den ARTUS Receiver
- Signal-Simulator für Galileo Signale
- Leica Geosystems beschränkt sich bei ARTUS auf
 - **Entwicklung der Processing-Algorithmik**
 - **SW Implementationen für “real-time” und “post-processing” auf Laptop/PC**

ARTUS Komponenten

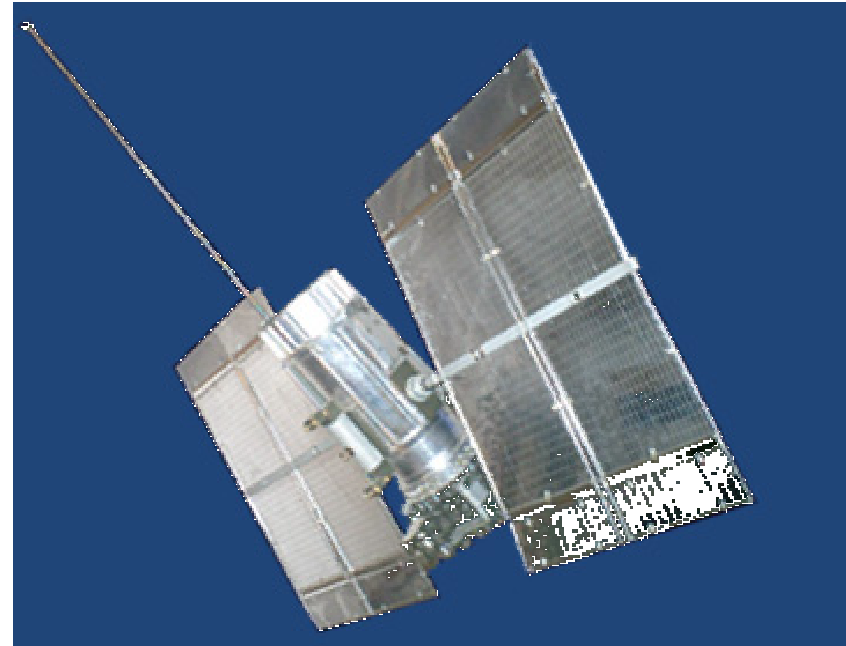
Status at A-QR:
ARTUS subsystems
are verified
independantly!

Status at FR:
ARTUS integrated
receiver chain
validated!



Zukünftige GNSS Signale

- Was kommt wann?
- Welchen Nutzen bringen die neuen Signale für GNSS gestützte Vermessungen mit sich?
 - Welche Signale bringen echte Vorteile?



Zukünftige GNSS Signale

Global Positioning System (GPS)- Was kommt?

L2C – “second civil frequency”

- Neuer zusätzlicher Code auf L2
- Stärkeres Signal als L2P – Positionierung innerhalb von Gebäuden; Genauigkeit: Mehrere Meter
- Einfacher zu tracken als der verschlüsselte P2 code
- Geringere Genauigkeit als L2P
- L2C Phase ist gegenüber L2P Phase um 90° phasenverschoben

L5 – “third civil frequency”

- Neuer zusätzlicher Code auf zusätzlicher, dritter Trägerfrequenz
- Erlaubt neue Linearkombinationen für die Ambiguitysuche
 - **Verbesserte Möglichkeiten für die Ambiguity Suche**
 - **Zuverlässiger unter schwierigen ionosphärischen Bedingungen**

Das Tracking von L2C und L5 erfordert neue Hardware

Zukünftige GNSS Signale

Global Positioning System- Was kommt wann?

L2C – “second civil frequency”

- Der erste GPS Satellite (PRN17) mit L2C ist seit Dezember 2005 operationell
 - **Augenblicklich sind 3 Block IIR-M Satelliten im All (PRN17,PRN31,PRN12) ***
 - **Bestehende GPS Satelliten werden nach Ablauf ihrer Lebensdauer ersetzt**

*Quelle US Coastguard <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt>

L5 – “third civil frequency”

- Der Start des ersten Block IIF Satellit mit L5 wird für 2008 erwartet*
- 2009 sind weitere 4, 2010 und 2011 jeweils weitere 3 IIF Satelliten geplant*

* Quelle: Boeing launch schedule, www.boeing.com

eine brauchbare L5-Konstellation wird nicht vor 2012 verfügbar sein!

Zukünftige GNSS Signale

Global Positioning System- Was ist der Nutzen?

L2C – “second civil frequency”

- Einfacher zu tracken als L2P (kein direkter Nutzen für den Vermesser)
- Etwas stärkeres Signal als L2P
 - **Eine schlechtere Codeauflösung bedingt i.d.R. ein höheres Rauschen– L2C or L2P?**
 - **Keine echten Vorteile gegenüber L2P für den Vermesser**
- Der Phase-Shift erschwert eine Kombination von L2P Reference und L2C Rover erheblich

L5 – “third civil frequency”

- Höhere Redundanz in den Beobachtungen
 - **Geringfügige Verbesserung der Genauigkeit (etwa 5 %)**
 - **Kürzere Ambiguity Resolution Time (Instantaneous Fix erscheint realistischer)**
 - **Ambiguity Resolution auch über längere Baselines möglich (bessere Ionosphärenmodulierung etc)**

Kein echter Gewinn durch L2C, beachtliche Verbesserungen durch L5

Zukünftige GNSS Signale

Global Positioning System- Was ist der Nutzen?

L2C – “second civil frequency”

*"... the Air Force emphasized that it would not guarantee the availability or quality of L2C signals until initial operational capability (IOC) - or the broadcast of the signal on at least 21 satellites. ...the new signal is "under development" and "may be used for a variety of test applications prior to IOC. Consequently, until that time availability and quality of the L2C signal may be subject to change without prior notice. Therefore, ..., any use of the L2C signal prior to being declared operational is at the user's own risk."**

*Quelle: InsideGNSS <http://www.insidegnss.com>

Zukünftige GNSS Signale

GLONASS - Was kommt?

Aufstockung der Satelliten mit L1 und L2 Code und Phase Measurements

- Identische Satellitensignale auf unterschiedlichen Frequenzen TDMA
 - **GPS: Unterschiedliche Signale auf gleichen Frequenzen (CDMA)**
- Interfrequency Biases zwischen den Frequenzen sind schwer zu beheben
- Mindestens 2 GLONASS Satelliten werden benötigt um eine GPS Ambiguity Suche zu unterstützen

L3 Code und Phase Measurements

- Für die nächste Generation von GLONASS Satelliten geplant
- Vergleichbare Vorteile wie GPS L5

Umstellung von GLONASS auf CDMA Verfahren?

Zukünftige GNSS Signale

GLONASS - Was kommt wann?

1995

- Volle Konstellation mit 24 GLONASS Satelliten

2001

- Nur noch 7 Satelliten verfügbar
 - **Im Schnitt sind 2001 weniger als 2 Satelliten über dem Horizont sichtbar**

Seit 2000

- Im Schnitt werden jährlich 3 Satelliten pro Jahr ins All geschossen
- 2007 sind 19 Satelliten im All, davon zur Zeit 5 temporär ausgeschaltet*
- Volle GLONASS Konstellation voraussichtlich 2008/2009**

Quellen: *<http://www.glonass-ianc.rsa.ru>, **<http://www.russianspaceweb.com>

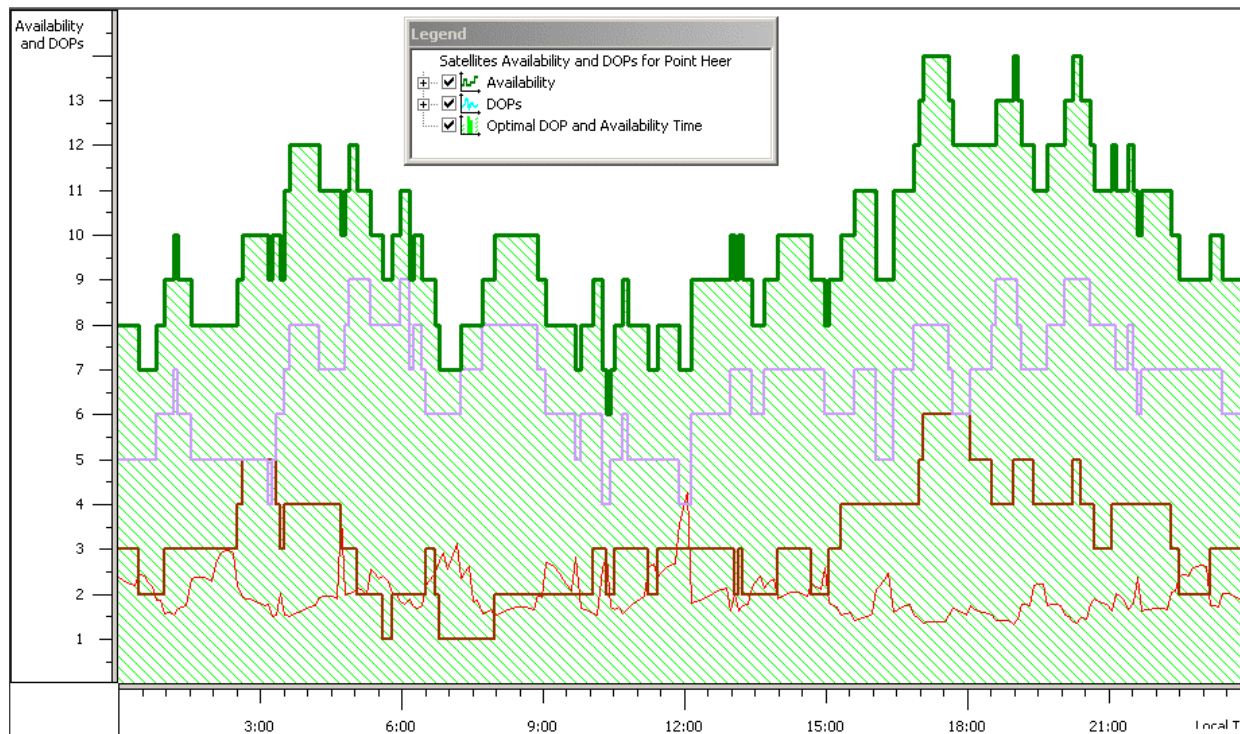
Bereits jetzt ist eine brauchbare GLONASS Konstellation verfügbar!

Zukünftige GNSS Signale

GLONASS - Was ist der Nutzen?

Zusätzliche Satelliten

“Je mehr Satelliten desto besser”



Zukünftige GNSS Signale

GALILEO - Was kommt?

Frei verfügbar für jedermann

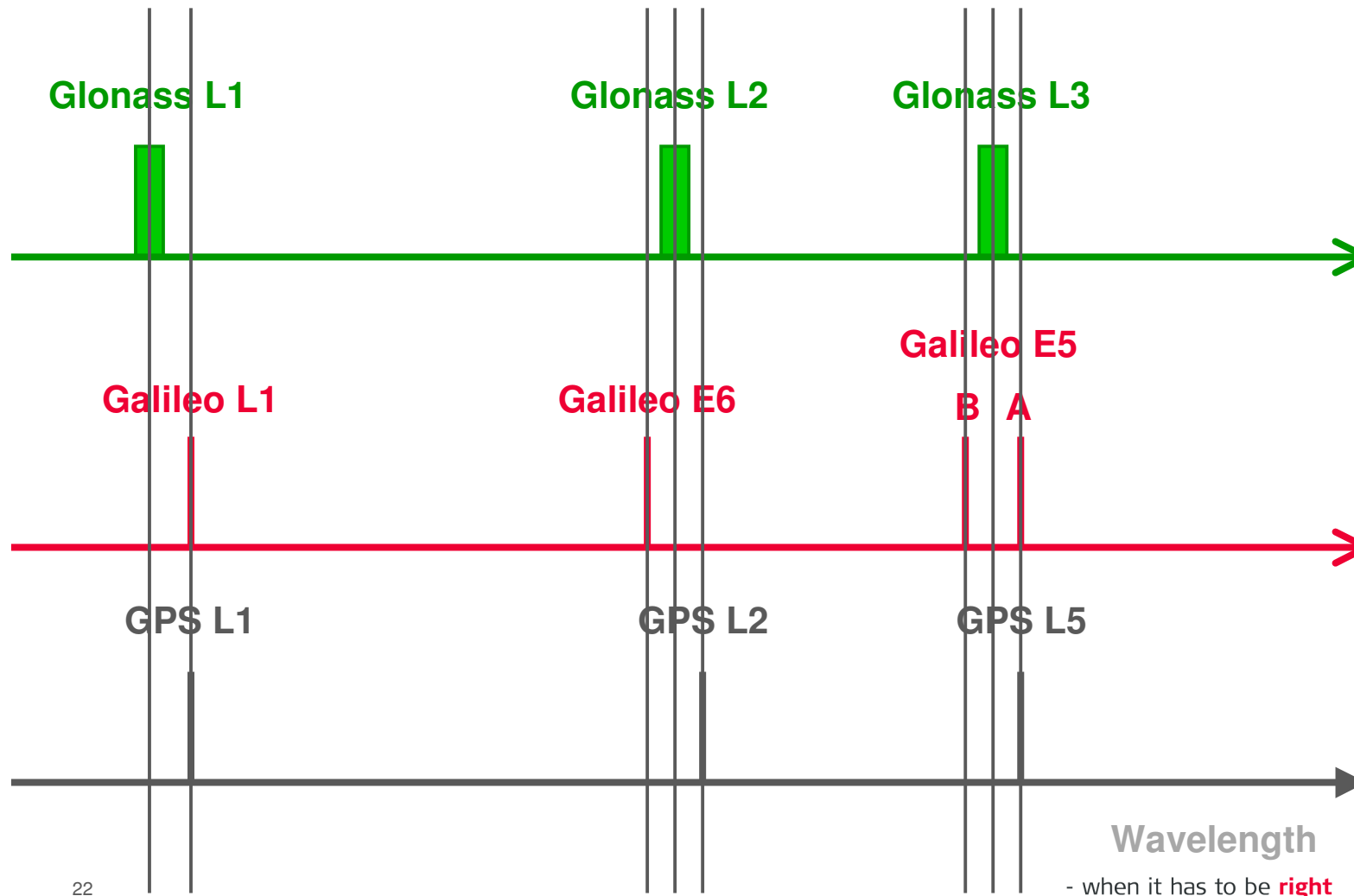
- 2 (4) Trägerfrequenzen
 - E1 – Code und Phase
 - E5a, E5b, AltBOC, Code und Phase

“Commercial Service” – geschützter Zugang

- 1 Frequenz
 - E6 – Code und phase (ASIC Hardware Encryption erforderlich)
- Signal Struktur für das E1 und E5 Band ist ähnlich dem GPS, E1 ist weitgehend kompatibel mit GPS L1
- Das Tracking von Galileo Signalen erfordert prinzipiell neue Hardware
 - 3 Frequenz-Empfänger

Zukünftige GNSS Signale

Überblick über die GNSS Frequenzen



Zukünftige GNSS Signale

GALILEO - Was kommt wann?

Aus der EU Broschüre 2002:

- 3 Phasen
 - Entwicklung und Validierung der Orbit Komponente(2002-2005)
 - U.a.: Entwicklung von 3-4 Satelliten
 - Bau der Satelliten (2006-2007)
 - Produktion von 27-28 Satelliten
 - Installation der Bodenstationen
 - Voll funktionstüchtiges System ab 2008

Zukünftige GNSS Signale

GALILEO - Was kommt wann?

Realität

- 28. Dezember 2005
 - **Erster Testsatellit**
- 2007: GALILEO macht Schlagzeilen durch immer weitere Verzögerungen
 - **Finanzierungsschwierigkeiten: “Satellitensystem Galileo fehlen noch 2,5 Milliarden Euro”(Verkehrsminister Tiefensee am 27.06.2007)***
- Mit einer Verzögerung von 4-5 Jahren muss gerechnet werden

Galileo vor 2012 nicht operabel*

* Quelle: „Der Standard“ 27.06.2007

Zukünftige GNSS Signale

GALILEO - Was ist der Nutzen?

Annahme

- Galileo als „Stand-Alone System“ mindestens so gut wie GPS
- Galileo und GPS kombiniert wird durchschnittlich eine Verbesserung um ca 20% bedeuten (Verfügbarkeit, Genauigkeit, Geschwindigkeit)
- Das Galileo ALT-BOC Signal wird die besten Multipath-Mitigation Charakterisica besitzen– 15-20 cm Genauigkeit mit differentiellen Code sind realistisch
- Die Ambiguity Suche wird wesentlich vereinfacht –Glonass kann hier keinen vergleichbaren Gewinn bringen da dort die Wellenlängen für jeden Satelliten unterschiedlich sind und dadurch auf Double-Difference Ebene keine Integer Ambiguities mehr vorhanden sind

Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen...



Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen: GPS

GPS L2C

- L2C oder P2?
 - L2C ist das stärkere Singal, aber P2 ist genauer
 - Mischen von Beobachtungen (L2C von der Referenz und P2 vom Rover) ist immer schlechter als das Verwenden gleicher Beobachtungen und erschwert die Ambiguity Suche.
 - Welchen Vorteil bringt es einen L2C fähigen Receiver zu benutzen wenn die Mehrheit der Satelliten L2C nicht unterstützt?
 - Referenz-Netzwerk Betreiber müssen sich entscheiden L2C oder L2P.

Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen: GPS

GPS L5

- Hardware zum Tracken von 3 Frequenz ist deutlich teurer als solche für 2 Frequenzen
- Was spricht dafür schon heute einen 3-Frequenz Empfänger zu kaufen wenn 6 GPS L5 Satelliten erst nach 2010 verfügbar sein werden?

Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen: GLONASS

Glonass

- Hardware zum Tracken von 3 Frequenz ist deutlich teurer als solche für 2 Frequenzen
- Wie werden künftig GLONASS Beobachtungen verschiedener Sensortypen kombiniert ? – „Interfrequency Biases“ müssen gelöst werden!
- Wird GLONASS in zukünftigen Satellitengenerationen auf das CDMA Verfahren umstellen?

Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen: GALILEO

Galileo

- Ab voraussichtlich 2012 werden folgende Signale verfügbar sein:
 - GPS: L1, L2, L2C, L5
 - GLONASS: L1, L2, L3
 - Galileo: L1, E5a, E5b, ALT-BOC, (E6)
- Welche Signale werden die Betreiber von Referenz-Netzwerken unterstützen?
- Welches RTK Datenformat wird benutzt?
- Welche der o.g. Signale soll ein Galileo Rover benutzen – und bis zu welchem Ausmaß? Nicht immer ist die Nutzung aller Signale sinnvoll

Zukünftige GNSS Signale

Offene Fragen: Empfangskanäle

Angenommen GPS und GLONASS sind auch zukünftig verfügbar....

GNSS	sichtbare Satelliten	Frequenzen	Erforderliche Kanäle
GPS	12	3	36
GLONASS	8	3	24
GALILEO	12	5	60
Summe	32		120

Schon heute ist absehbar, daß ein 72 Kanal-Empfänger in Zukunft nicht ausreichend sein wird!

Zukünftige GNSS Signale

GNSS-gestützte Vermessung...

.. heute und im Jahre 2017

2007

- 28 GPS und 19 Glonass SV
- 2 Frequenzen (L1, L2)
- 26 Beobachtungen durchschnittlich pro Epoche ohne Abschattungen
- 12 Beobachtungen mit Abschattungen
- RTK bis etwa 30km
- 8“ typische Initialisierungszeit
- RTK Genauigkeit etwa $\pm 15\text{mm}$

2017

- 28 GPS, 24 Glonass, 28 Galileo SV
- 3 Frequenzen (L1, L2, L5)
- 76 Beobachtungen durchschnittlich pro Epoche ohne Abschattungen
- 32 Beobachtungen mit Abschattungen
- RTK bis etwa 50km
- 1“ typische Initialisierungszeit
- RTK Genauigkeit etwa $\pm 10\text{mm}$



Alle GPS 1200 Produkte
sind vorbereitet um GPS L5,
Galileo E1 und E5 zu
unterstützen.



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Vermessungsinstrumente im Jahr 2017...

