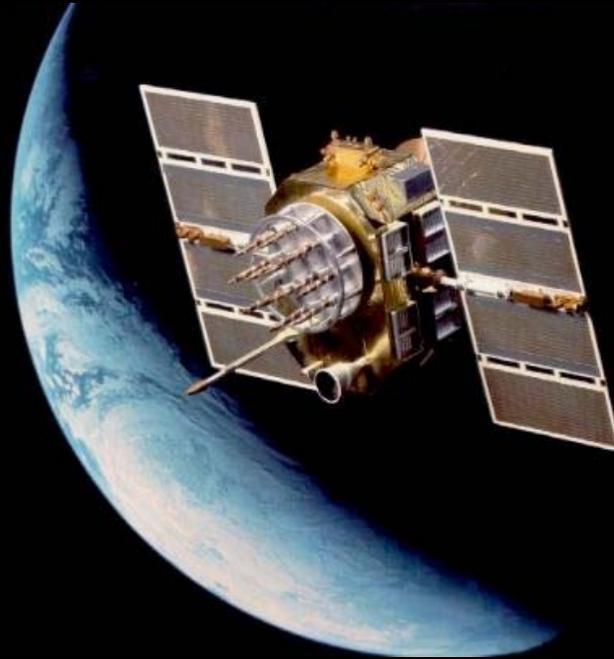


GPS / Galileo



Marc Bühler
(mabuehle@student.ethz.ch)

25.04.2006
Fachseminar in Verteilte Systeme, ETH Zürich
Betreuer: Jonas Wolf

Inhalt

- Einführung und Motivation
- Satellitennavigation
- GPS
- Galileo
- GPS / Galileo Vergleich
- Glonass
- GPS Erweiterungen
- Anwendungen
- Zukunftsausblick
- Kritik
- Referenzen

Einführung und Motivation

- Uhrzeit liefert uns das „Wann?“
– seit 5000 Jahren



Quelle: [1]

- Mittels Satellitennavigation ist es möglich das exakte „Wo?“ zu erfahren – seit 11 Jahren
- Lokalisierung mittels **GPS** zivil nutzbar seit 1995
- Europäisches Konkurrenzsystem **Galileo** im Aufbau
- Kommerzielle Dienste sind **Milliardenmarkt**
- Motivation für Staaten: **Militärische Vorherrschaft**, **Prestige**, **Technologievorsprung**, **Wirtschaft**

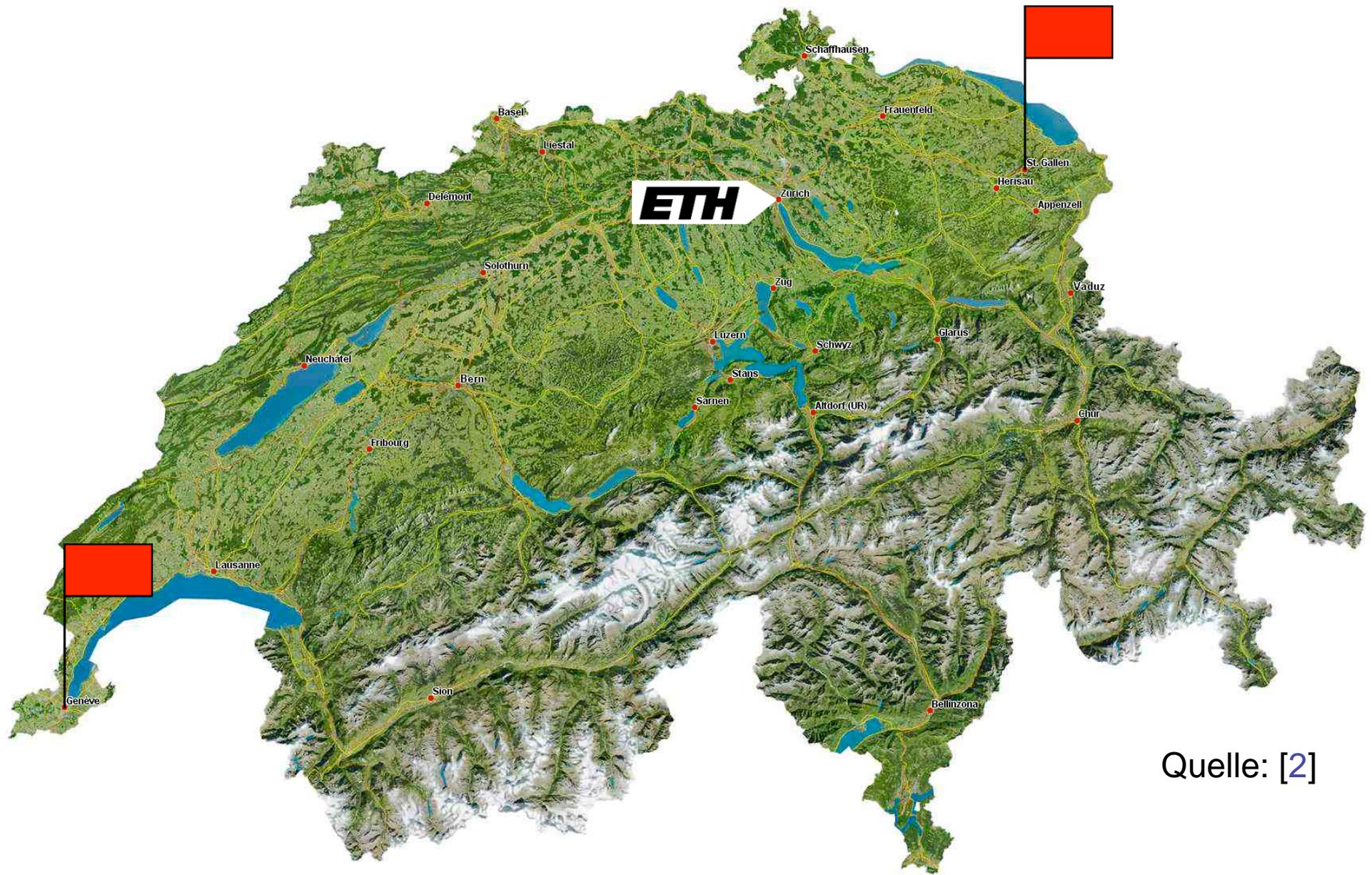
Satellitenavigation

- Global Navigation Satellite System (**GNSS**)
- 20 bis 30 Satelliten in ca. 24'000 km Höhe
- Erdumlauf in 12 Stunden (feste Bahnen)

- **Einwegkommunikation**
- Funkwellen > 1000 MHz mit 20 Watt Leistung (annähernd Lichtgeschwindigkeit)
- **CDMA** (gleiche Frequenz, gleiche Zeit)
- Energieversorgung mittels Sonnensegel

Satellitenavigation Technik

- Positionsbestimmung mittels **Trilateration / Time of arrival**
- Satellit sendet **eigene Kennung, Position** und **genaue Uhrzeit**
- Berechnung der Distanz mittels Laufzeit und Lichtgeschwindigkeit: $s = v \cdot t$
- Weiss man Distanz zu **drei Satelliten** und deren Position, ist **eigene Position** genau definiert
- Voraussetzung: damit t genau ist, müssen **alle** Uhren synchron und sehr genau sein (**Atomuhr**)



Quelle: [2]

Geographischer Fehler bei 1 ms Zeitfehler

Satellitenavigation Technik

- Atomuhr für Empfänger zu teuer!
- Daher: Vier Satelliten statt nur drei
- Gleichungssystem mit vier Gleichungen und vier Unbekannten (Länge, Breite, Höhe, Zeit)
- Signal von fünf Satelliten auf jedem Punkt der Erde
→ Überbestimmung des Gleichungssystems

Realität:

Heutige Satellitenavigationssysteme bis zu 30
Satelliten

Satellitenavigation

Störfaktoren

- Mindestens fünf Satelliten bei freier Sicht
- Nicht möglich innerhalb von **Gebäuden**
- In Städten: zwischen hohen Gebäuden
- Umwelteinflüsse:
 - Wetter / Luftdruck / **Ionosphäre** ~ 0.5 Meter
 - Uhrenfehler ~ 1.5 Meter
 - Multipath-Fehler ~ 0.6 Meter
 - Umlaufbahnen (Gravitationskräfte) ~ 2.5 Meter
- Jedoch: Tag / Nacht unabhängig

GPS – Global Positioning System

Geschichte und Entstehung

- **Militärische** Erfindung der USA (Department of Defense) während des Kalten Krieges.
- Motivation: **Waffen(systeme)**, Flugzeuge
Kriegsschiffe
- 1970 Konzeption
- 1974 erste Tests
- 1984 erster Satellit
- 1990 zwölf GPS Satelliten in Betrieb
- **1995 volle Bereitschaft** mit 24 Satelliten



GPS – Global Positioning System

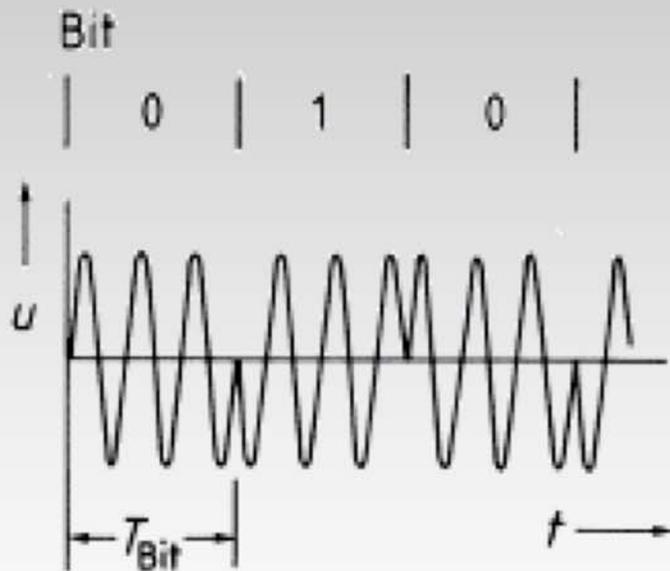
Technik (Satellit)

- Lebensdauer eines Satelliten: ca. 7.5 Jahre
- Höhe der Satelliten: 20'180 km
- Gewicht: 1000 bis 2000 kg
- Herstellungskosten pro Satellit: ca. 60 Millionen Euro
- 16 MHz CPU
- Betriebssystem in ADA programmiert

GPS – Global Positioning System

Technik (Satellit)

- Modulation mittels **BPSK**



Quelle: [3]

GPS – Global Positioning System

Technik (Bodenstation)

- **Monitorstationen** sammeln Daten der Satelliten und leiten diese an **Master Control Station (MCS)** in Colorado, USA weiter (mittels Bodenantennen)
- MCS berechnet und sendet Korrekturinformationen an Satelliten zurück:
Zeit, Position, Bahndaten

GPS – Global Positioning System

Dienste

- Standard Positioning Service (**SPS**)
kostenlos und für zivile Nutzung
ursprüngliche Genauigkeit: 100 Meter
- Precise Positioning Service (**PPS**)
verschlüsselt und nur für US Streitkräfte und NATO
zugänglich
Genauigkeit: 20 Meter

GPS – Global Positioning System Dienste

- Um Ungenauigkeit beim **zivilen Signal** (SPS) zu erreichen, wurde die mitgeschickte **Uhrzeit** zufällig **verändert** (= **Selective Availability**, SA)
- SA wurde deaktiviert am 1.5.2000
(**wirtschaftliche Interessen**)
90% der Messungen sind dadurch genauer als 10 Meter

Galileo

Geschichte und Entstehung

- Gemeinschaftsprojekt der Europäischen Union
- ESA beauftragt von der EU
- Motivation: Gegenpol zu GPS, Unabhängigkeit, wirtschaftliche Interessen, Arbeitsplätze (kein militärischer Hintergrund)

- 1994 Beginn der Planungen
- 2005 Erster Testsatellit Giove-A
- 2008 Probebetrieb (vier Satelliten)
- 2008 geplante Inbetriebnahme (eher 2010)



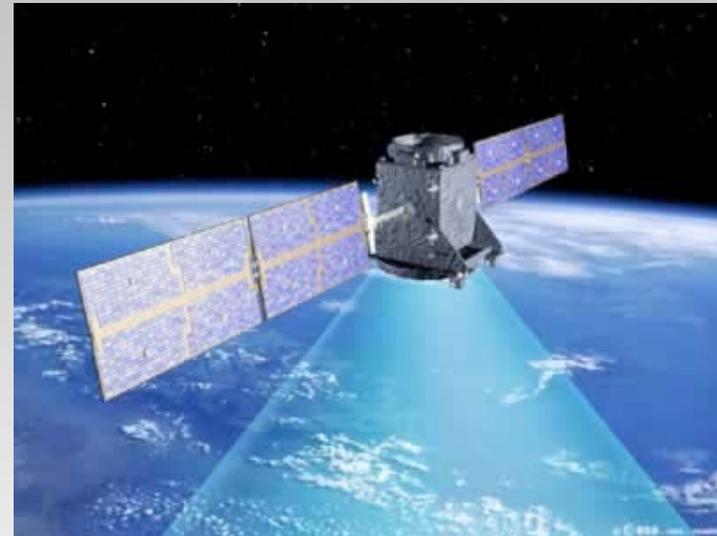
Galileo

Allgemein

- Beteiligungen von **nicht EU-Staaten**:
Europa: **Schweiz**, Norwegen
Andere: China, Indien, Brasilien, Südkorea, Israel, USA, Kanada und weitere
- Zwei **Kontrollzentren** in Deutschland und Italien
- **SoL Kontrollzentrum** in Spanien
- Neun weitere **Bodenstationen** zur Korrektur der Signale
- Betreibergesellschaftssitz: Frankreich und England

Galileo Technik

- Gleiche Frequenzen wie GPS → CDMA
- 30 Satelliten (27 + 3 Ersatz)
- Höhe der Satelliten: 23'260 km
- Gewicht < 1000 kg
- Integritätssignale (Empfänger weiss, wann Signal schlecht)
- Positionsbestimmung: < 1 Meter



Quelle: [4]

Galileo Dienste

- Open Service (**OS**)
gratis und frei zugänglich
- Commercial Service (**CS**)
kostenpflichtig, zusätzliche Korrekturdaten
(verschlüsselt)
- Safety-of-Life (**SoL**)
Luft- und Schienenverkehr
- Public Regulated Service (**PRS**)
Verschlüsselt, für Polizei und Geheimdienste

Galileo

Kosten / Finanzierung

- „*Teuerstes Investitionsprojekt des Kontinents*“
(SonntagsZeitung, 12.3.2006)
- Kosten der Entwicklungsphase werden von der **EU** und **ESA** geteilt.
- Kosten: 3 bis 4 Milliarden Euro (ohne laufenden Betrieb)
- Betriebskosten: ca. 250 Millionen Euro im Jahr

GPS / Galileo Vergleich

- Vertrag USA / EU am 26. Juni 2004

Frequenz	GPS	Galileo
1575.42 MHz	zivil, militärisch	zivil, kommerz., milit.
1176.45 MHz	SoL, im Aufbau	zivil, kommerz., milit.
1227.6 MHz	militärisch	/
1278.75 MHz	/	kommerziell
1207.14 MHz	/	zivil, kommerz., milit.

GPS / Galileo Vergleich

Vorteile von Galileo

- Nicht unter **militärischer Kontrolle**
- **Atomuhren** genauer
- Zuverlässigkeit höher
- Genauer, da **zwei Frequenzen** (Atmosphärische Einflüsse werden dadurch korrigiert)
- 27 statt 24 Satelliten → **Genauigkeit**
- Genauer an **Nord-** und **Südpol**
- Neue Möglichkeiten:
 - Computergesteuertes Pflügen / Ernten
 - Steuern von Containerschiffen an die Docks

Glonass

- Russisches Verteidigungsministerium
- Während des Kalten Krieges als ebenbürtiges System zu GPS gedacht
- FDMA (jeder Satellit hat eigene Frequenz)
- 1982 erster Testsatellit
- 1995 25 Satelliten
- 2001 nur noch sieben Satelliten
(hohe Ausfallsrate, kurze Lebensdauer: 3 bis 4 Jahre)
- Neue Satelliten in Entwicklung
- 2010 24 Satelliten geplant

GPS Erweiterungen

DGPS (Differential GPS)

- **Basisstationen** mit bekannter Position empfangen GPS-Signal und berechnen Fehler zur eigenen Position
- **Korrekturdaten** werden von den Basisstationen direkt an die Empfänger geliefert (beispielsweise über Mittelwelle)
- Genauigkeit: **1 bis 3 Meter**
- Anwendung: **Schiffnavigation in Küstennähe**

GPS Erweiterungen

WAAS (Wide Area Augmentation System)

- US-amerikanisches System
- Für **Flugverkehr** verwendet
- Ähnliches Prinzip wie DGPS
- 25 **Bodenstation** kontrollieren GPS Signal und schicken Korrekturen an **zwei geostationäre WAAS Satelliten**
- Genauer als DGPS
- Nur in USA / Kanada verfügbar

GPS Erweiterungen

EGNOS

- European Geostationary Navigation Overlay Service
- **Europäisches System**, gleiches Prinzip wie WAAS
- Fertigstellung: **2006**
- Genauigkeit: **1 bis 3 Meter**
- **34 Bodenstation** kontrollieren GPS Signal und schicken Korrekturen an **drei geostationäre EGNOS Satelliten**
- Kostenlos
- Für **Flugverkehr** gedacht



GPS Erweiterungen

Überblick

- **DGPS** (nur Bodenstationen)
- **WAAS** (USA, geostationär)
- **EGNOS** (Europa, geostationär)
- **MSAS** (Japan, geostationär)

Anwendungen

Autonavigation

- Lokal gespeicherte **Karten**
- **Richtungsanweisung** mittels Stimme und visueller Markierung auf dem Display
- **Blickrichtung** nicht errechenbar (Geschwindigkeit, Kompass)



Quelle: [5]

- **Zusatzdienste**: Baustellen, Staus, Radarwarnungen
- Achtung: Kein Signal in **Tunnel**
- Taxis

Anwendungen

- **Navigation** (Auto, Schiffe, Flugzeuge)
- Mobile Geräte (Mobiltelefon, PCMCIA-Karten)
- Vermessungswesen
- Zeitsynchronisation

- Mit „**Callback-Funktion**“:
 - Militär
 - Verfolgung / Überwachung (Geheimdienste)
 - Strafvollzug
 - **Rettungsdienste** (Krankenautos, Feuerwehr, Bergrettung, ...)
 - Autodiebstahl
 - Wildaufsicht

Anwendungen Störsender

- „GPS-Jammer“
 - Manipulation! (Strafvollzug)
 - Irakkrieg
- „GPS-Faker“
 - Gefährlich bei militärischen Anwendungen

Zukunftsausblick

- **Kombination** von GPS / DGPS / Galileo und deren Erweiterungen wird **zentimetergenaue Lokalisierung** ermöglichen → neue Märkte
- Automatische Verkehrslenkung
- **Miniaturisierung** (Uhr)
- Weiterer **Preiszerfall**
- Autonavigation: Display in Windschutzscheibe

Kritik

- **Datenschutz**
- Informationspaper der EU zu Galileo:
Unsachliche Argumentation, fehlerhaft
- Galileo sieht ebenfalls verschlüsselte Signale für
„gemeinsame europäische Verteidigung“ vor
- **Sozialkritik:** Bequemlichkeit, blindes Vertrauen
- **Fazit:** *„Die Fähigkeit sich ohne elektronische Hilfsmittel zu orientieren sollte nicht verloren gehen.“*

Referenzen

Literatur

- „Satellitennavigation“. Kapitel 8.3 in Mobile Computing: Grundlagen, Technik, Konzepte / Jörg Roth. – 2. aktual. Aufl. – Heidelberg: dpunkt.verlag, 2005. (Dpunkt Lehrbuch)
- R. Bajaj, S.L. Ranaweera and D.P. Agrawal, GPS: Location-Tracking Technology, Computer, 35(4), pages 92-94, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 2002
- Alkan, R.M.; Karaman, H.; Sahin, M., GPS, GALILEO and GLONASS satellite navigation systems & GPS modernization, Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), pages 390-394, 9-11 June 2005
- Qualifikationsstudie zur Entwicklung eines Geschäftsplans für das GALILEO-Programm: Zusammenfassung Phase II. Generalkommission Energie und Verkehr der Europäischen Kommission. Januar 2003
- GALILEO and GPS will navigate side by side: EU and US sign final agreement. Pressemitteilung der Europäischen Union, IP/04/805. Juni 2004, Brüssel
- GALILEO – Das europäische Satellitennavigationsprojekt. Informationsblatt der Europäischen Kommission, Generaldirektion Energie und Verkehr. März 2002
- Auf den Zentimeter genau – Europas Navigationssystem Galileo stellt das amerikanische GPS in den Schatten. SonntagsZeitung, 12.3.2006

Referenzen

Quellangaben

[Titelbild] NASA Jet Propulsion Laboratory, Image Gallery:
<http://www.jpl.nasa.gov/images>

[1] <http://www.ge-li.de/Grafiken/53-sonnenuhr.jpg>

[2] <http://map.search.ch>

[3] http://www.andreas-schwope.de/ASIC_s/Schnittstellen/Data_Lines

[4] <http://www.galileo-navigationssystem.com>

[5] <http://www.tomtom.com>