



# Satellitennavigation als Basis innovativer Verkehrsanwendungen

Prof. Dr. Thomas Strang, Institut für Kommunikation und Navigation, DLR



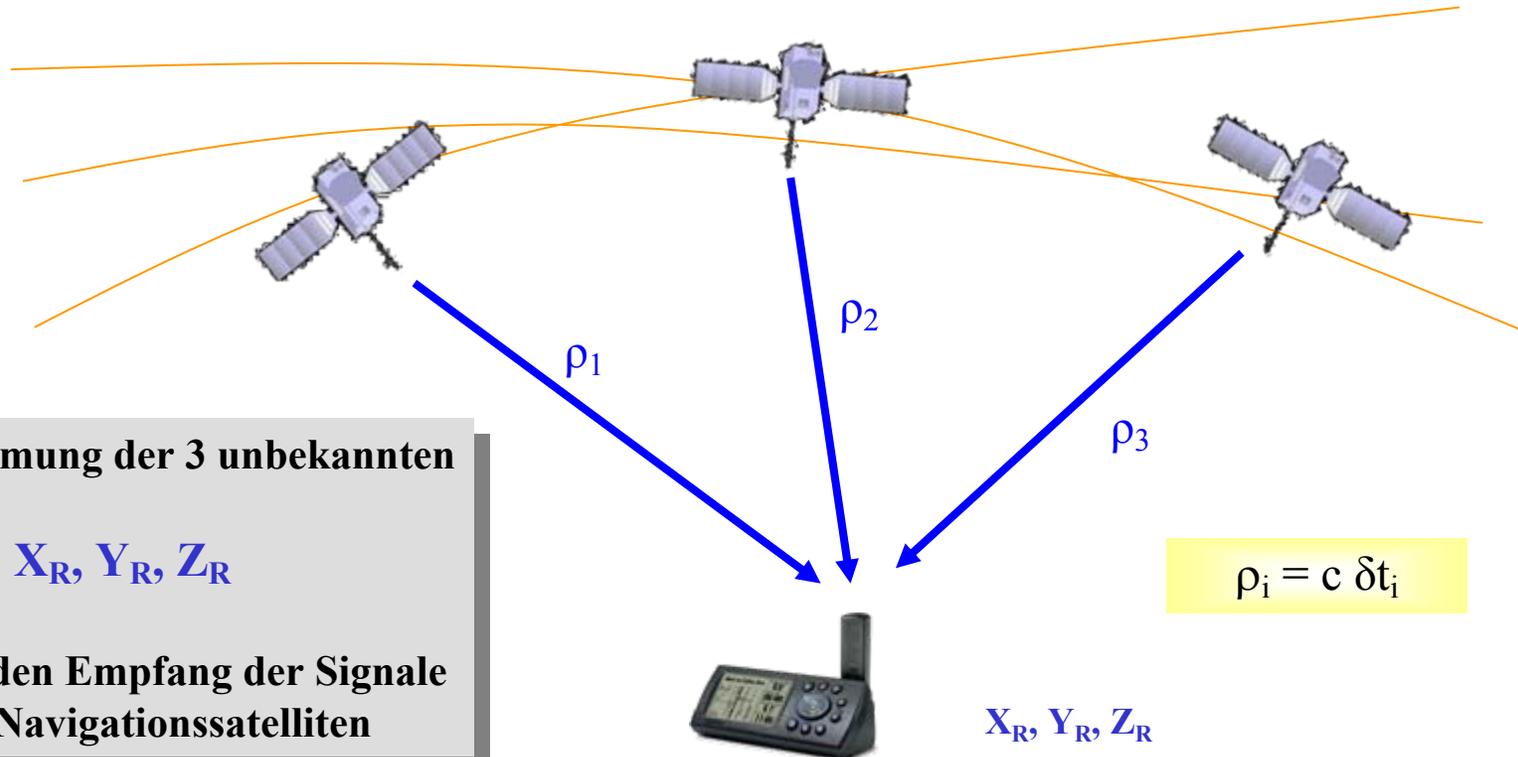
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

# Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

# Grundprinzip der Ortung mit Navigationssatelliten

- Die Bestimmung der Entfernung zum Navigationssatelliten basiert auf der Bestimmung der Laufzeitverzögerungen ( $\delta t_1, \delta t_2, \delta t_3$ ) vom Satellit zum Empfänger → sogenannte „pseudo ranges“ ( $\rho_1, \rho_2, \rho_3$ ) zwischen Satelliten und Empfänger



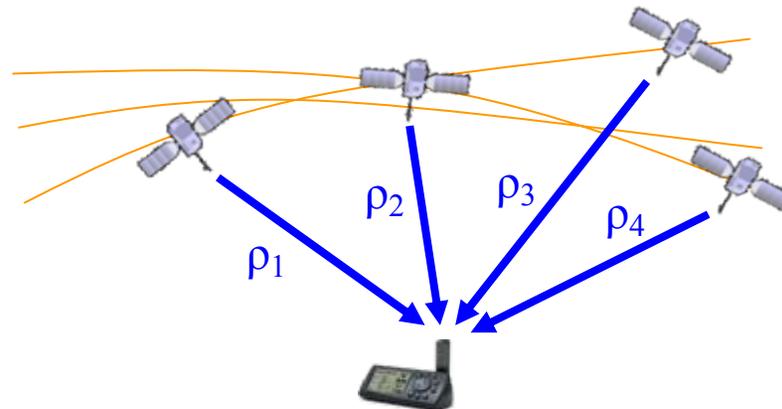
# Grundprinzip der Ortung mit Navigationssatelliten

## ➤ Leider nicht so einfach, denn:

- Der Empfänger müsste hierzu mit den Uhren der Satelliten synchronisiert sein, was aber nicht möglich ist (oder der Empfänger führt eine Atomuhr mit sich)
- Daher gibt es Abweichungen zwischen der Uhr des Empfängers und den Uhren der Satelliten
- Eine Abweichung von 1 ns bedeutet eine Abweichung 30 cm (in 1  $\mu$ s breitet sich das Signal 300 m aus) !

## ➤ Lösung:

- Zur Bestimmung einer 3D Position werden 4 Satelliten verwendet



# Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

Es existieren mehrere verschiedene Ansätze (jedes mit globaler Abdeckung):

## ➤ GPS

- USA; militärisches System
- 2 Basisdienste

## ➤ GLONASS

- Russland; militärisches System

## ➤ GALILEO (zukünftig)

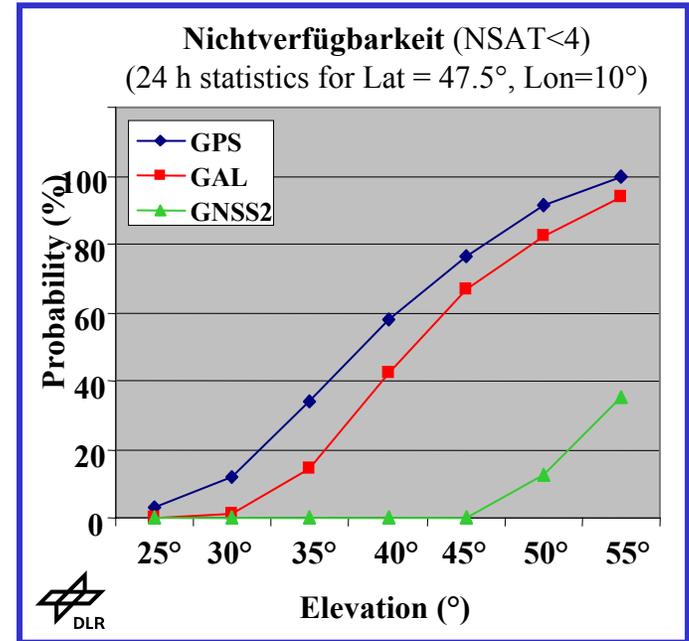
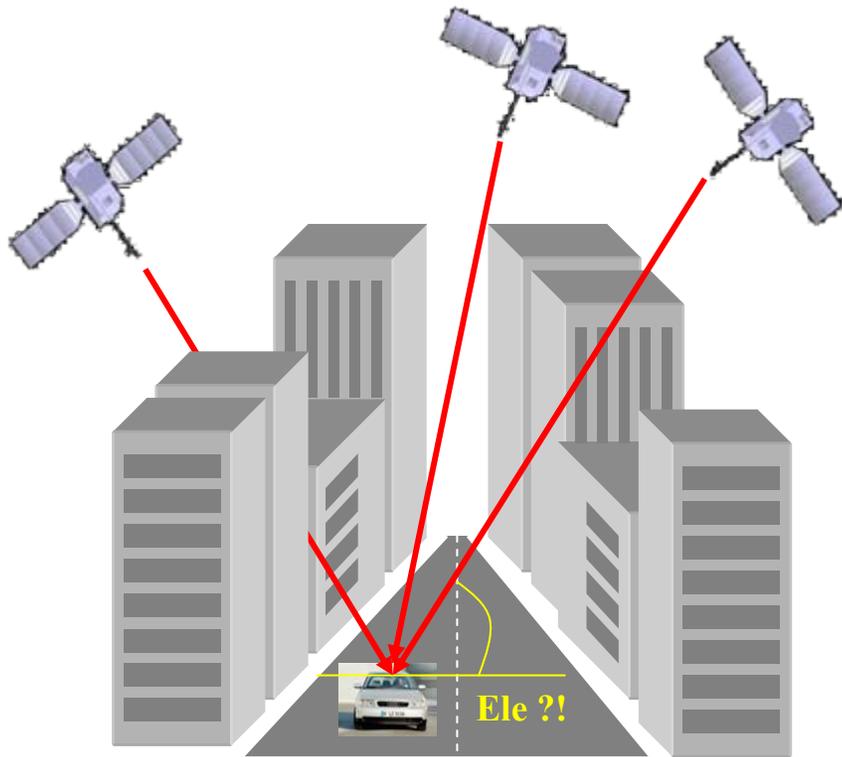
- Europa; ziviles, öffentlich reguliertes System
- 5 Basisdienste (4 Nav, 1 Com)

## ➤ COMPASS (zukünftig)

- China

# Interoperabilität von GPS und GALILEO

Verfügbarkeit wesentlich höher durch ca. Verdopplung der Anzahl der Satelliten



**Höhere Verfügbarkeit  
in kritischen Umgebungen  
wie Straßenschluchten**

# Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

# GNSS Basisdienste

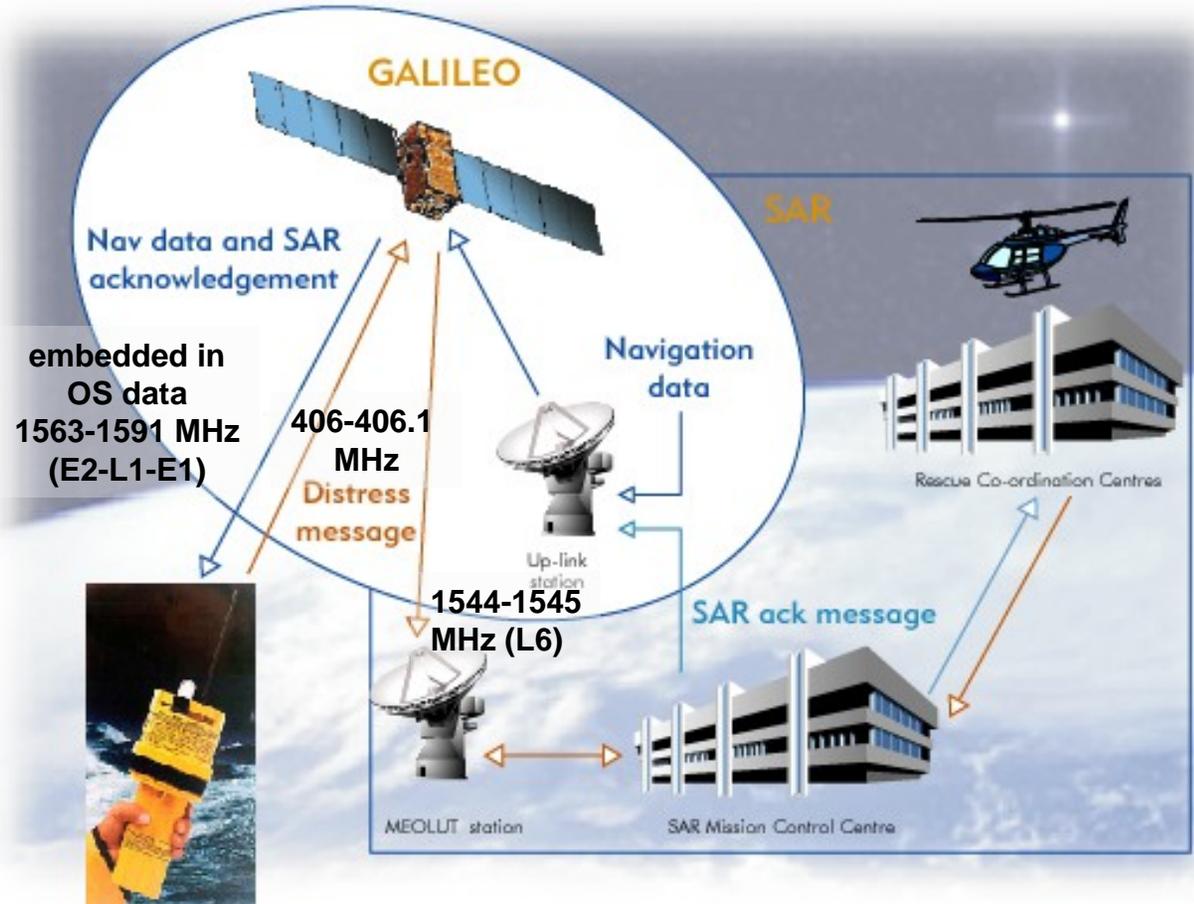
Name des Dienstes	Open service (OS)	Safety of Live (SoL)	Commercial service (CS)	Search & Rescue (SAR) COM	Military (PRS)
<b>Technische Merkmale</b>	Frei zugängliches Signal, 2 Frequenzbänder (GALILEO) bzw. 1 (GPS), gemeinsame Frequenz in L1	Gleiche Frequenzbänder wie OS plus zusätzlicher Integritätsinformation	3 Frequenzbänder; Preise noch nicht veröffentlicht	Notruf mit Rückkanal; kann in Richtung SMS-ähnlicher Dienst erweitert werden	2 separate Frequenzbänder
<b>Vorteil von Galileo gegenüber GPS</b>	Höhere Verfügbarkeit, bessere DOP-Werte, bessere Genauigkeit	Integrität	Höhere Genauigkeit, Integrität, Broadcast-Communication mit sehr geringer Bandbreite	Existiert nicht in GPS	Unabhängigkeit (politische Zuverlässigkeit)
<b>Beispiel</b>	Ortung und Navigation im Verkehrs, Mautsysteme, Logistik	Luftfahrt, Schifffahrt, Bahn	Geodesie, Bauwesen, Präzisionslandwirtschaft	Notrufe	Militärische Nutzung

# Search and Rescue (SAR) Dienst

**Ergänzung** zu existierendem COSPAS-SARSAT System besteht aus sechs polumlaufernden niedrigfliegenden Wetter- und Klimasatelliten und fünf geostationären Satelliten, vorwiegend für den maritimen Einsatz

## Ziele:

- Fast-Echtzeit Empfang von Notsignalen (bisher bis zu 1 Stunde)
- Inherente exakte Position
- Globale Verfügbarkeit
- Rückkanal
- derzeit 5 GEOs and 6 LEOs + dann 27 MEOs





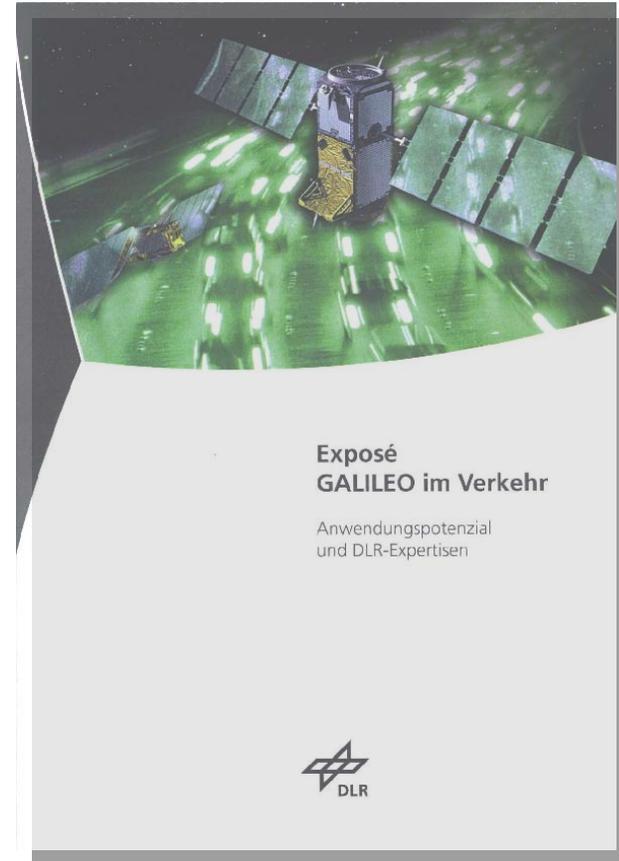
# Inhaltsübersicht

- Grundlagen der Satellitennavigation
- Heutige und zukünftige GNSS Basisdienste
- Innovative Anwendungen im bodengebundenen Verkehr (Auswahl)

# Übersicht Anwendungspotenzial SatNav im Verkehr

Giszczak, A.; Lenz, B.; Meyer zu Hörste, M.; Noack, T.; Schäfer, R.-P.; Schlingelhof, M.; Strang, T.; Zukunft, D.:

**Exposé GALILEO im Verkehr - Anwendungspotential und DLR-Expertisen.** Programmdirektion Verkehr, DLR [Hrsg.], Mai 2005



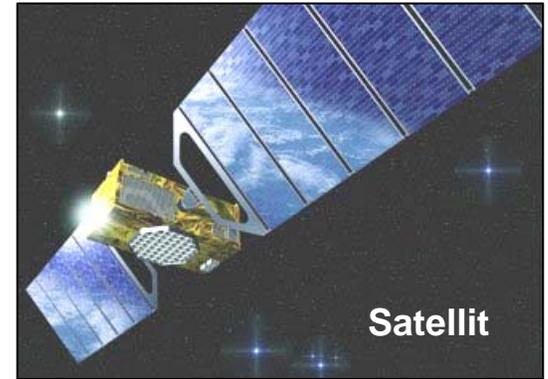
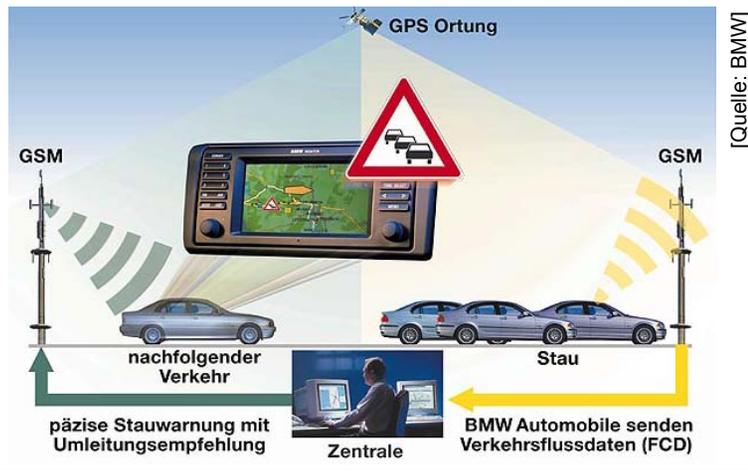
[ <http://elib.dlr.de/21016/> ]

# Verkehrliche Anwendungsfelder: Straßenverkehr

- **Verkehrszustandserfassung (FCD, FTD):** Erfassung von Verkehrszustand und -dichte. Aus der bewerteten Information können weitere Informationen abgeleitet werden, z. B. Ausweich- oder Umwegempfehlungen.
- **Generierung von Verkehrsinformationen:** Aus der Verkehrszustandserfassung können Empfehlungen für stationäre Anzeigen generiert und veröffentlicht werden.
- **Echtzeitroutenführung:** Führung des Fahrzeugs vom Startpunkt zum Zielpunkt, z. B. Führung des Fahrers zum freien Parkplatz im Parkhaus.
- **Notfallmanagement:** Ein Unfall kann automatisch gemeldet werden und es können ggf. sogar **eCall2** bereits in Abhängigkeit von bestimmten Parametern differenzierte Reaktionen ausgelöst werden.
- **Flotten- und Frachtmanagement (Logistik):** Die Erfassung und Auswertung des Zustands des Fahrzeugs und der Fracht sowie ggf. Auslösung einer Aktion (z. B. Instandsetzung, Wartung, etc.).
- **Gefahrgutüberwachung:** Kontinuierliches Überwachen und gezieltes Auslösen von Aktionen in Gefahrguttransporten auf der Basis von Zeit- und Ortsdaten. **Nutzung von SAR++**
- **Rückführung gestohlener Fahrzeuge:** Identifizieren und Lokalisieren **hochpräzise Ortung**
- **Elektronische Leitplanke:** Hochpräzise Fahrzeugführung an gefährlichen Streckenabschnitten
- **Automatische Fahrerunterstützung:** Unterstützung für zeit-, strecken- oder energieoptimales Fahren. Eine Ergänzung um Gefahren- und Kollisionswarnung ist möglich.
- **Spur- und Abstandskontrolle:** Dienst in Ausprägung aller drei Kategorien (Informationssystem, Steuerungssystem, Sicherungssystem) zur Einhaltung fester Mindestabstände in alle Raumrichtungen zu anderen Fahrzeugen und zur Umgebung. Koordination verschiedener On-Board-Systeme unterschiedlicher Fahrzeuge, insbesondere unter Verwendung von Car2Car.
- **Automatische Erhebung von Straßennutzungsgebühren:** elektronische Verfahren zur genauen standortabhängigen Gebührenerhebung z. B. für Straßenbenutzung, Tunnel, Brücken, Parkgebühren, usw. mit international standardisierten Verfahren, Protokollen und Endgeräten. Wiederfinden des Fahrzeugs im Parkhaus.
- **Blackbox im Auto:** Aufzeichnung der Verkehrsparameter zur Auswertung bei einem Unfall. **verbindliche Garantien bei SoL**

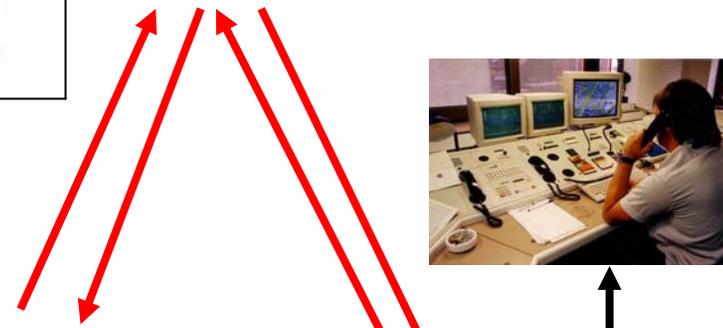
# (Extended) Floating Car Data (XFCD)

## XFCD via GSM

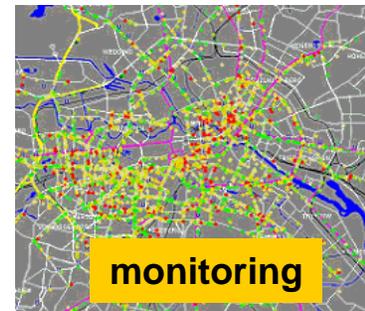
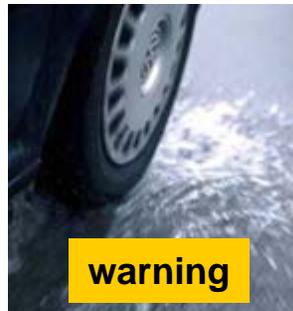


## XFCD via Satellit

- billigere Datenerfassung und -fusion im Vergleich mit GSM, globale/großregionale Abdeckung, kein Roaming notwendig, hohe Datenrate, skalierbar



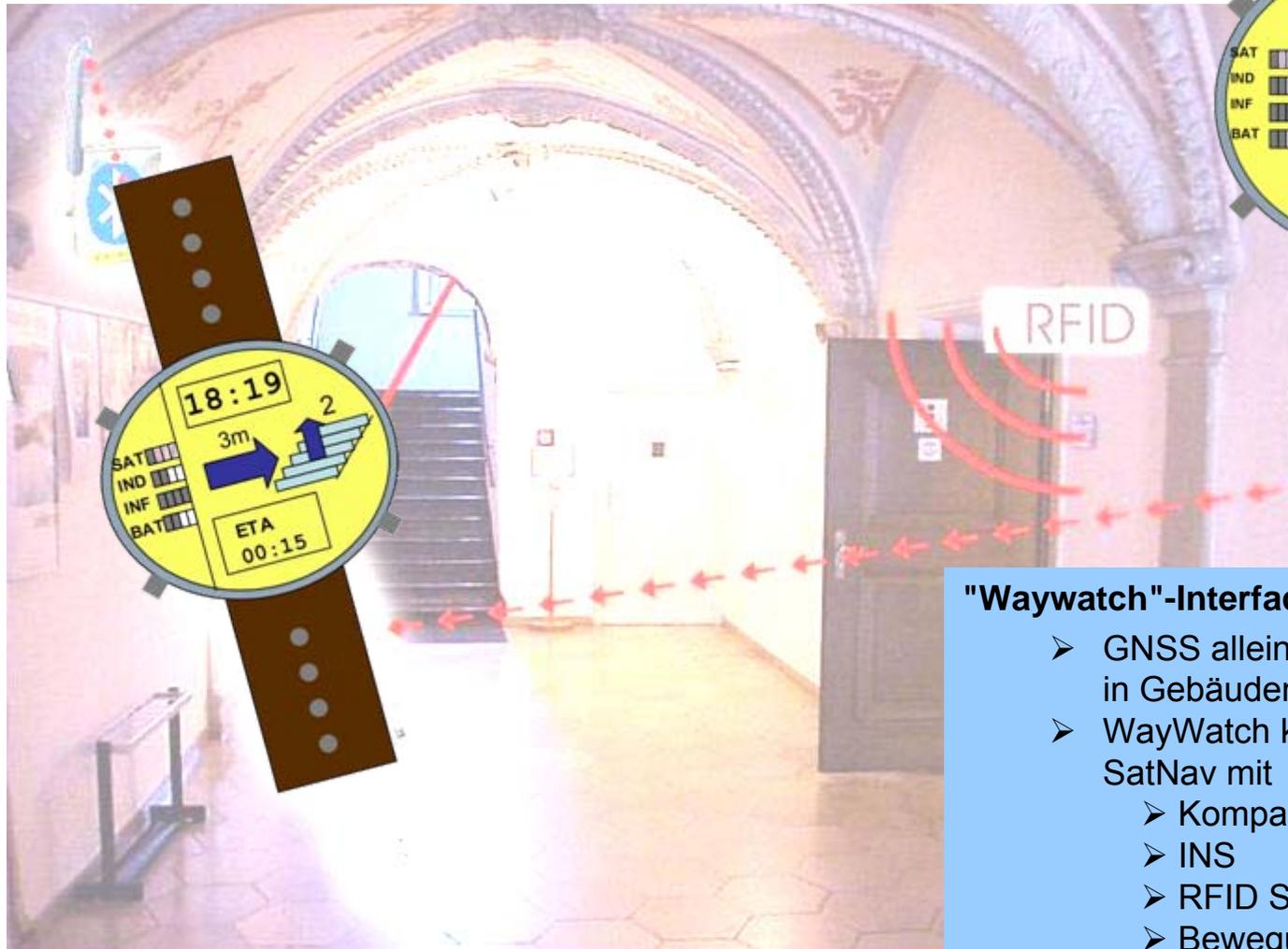
## XFCD (Sensor Fusion) + Data Distribution



# Verkehrliche Anwendungsfelder: Fußgänger, Radfahrer

- **Routenführung:** Führung der Person vom Startpunkt zum Zielpunkt, z. B. Führung des Benutzers von Haustür zu Haustür oder zum bezahlten Platz im Stadion/Parkhaus (indoor und outdoor).
- **Fahrgastinformationen (ÖPV):** Information des Reisenden über Routen, (öffentliche) Verkehrsmittel, Anschlüsse und Umsteigemöglichkeiten auf der Reise von der Starthaltestelle zur Zielhaltestelle.
- **Mobile Bezahlungssysteme (Mobile Ticketing):** elektronische Verfahren zur genauen standortabhängigen Gebührenerhebung z. B. für Fahrscheine, Eintrittsgelder, usw. mit international standardisierten Verfahren, Protokollen und Endgeräten. Daneben auch möglich: Ortsbasierte und zeitabhängige Preisberechnung bestimmter Bereich im Stadion o. ä.
- **Kartenerfassung:** Erfassung, Validation und Update von Karten auf der Basis von Daten, die durch Fußgänger z. B. persönliche Reiseassistenten (Personal Travel Assistant – PTA) erfasst werden.
- **Nutzerauthentifikation:** Authentifizierung einer Entität in einem System durch Wissen über geographische Position der Entität. In Erweiterung auch Authentifizierung durch Eigenschaften mittels GNSS-Empfänger ("geographischer Fingerabdruck").
- **E911/E112/SAR-Unterstützung:** unter Nutzung des SAR-Com-Kanals (oder eines zusätzlichen Transponders), insbesondere in Ergänzung zu GSM-Netzen (eCall), Übertragung wichtiger Situationsdaten bei Vorliegen einer Gefahrenlage (z. B. Havarie, Überfall, Entführung, medizinische Notlage von unter Beobachtung stehenden Personen/Patienten, Folge: Erhöhung der Mobilität bei gleichzeitiger Reduzierung von Betreuungsaufwand und Kosten).
- **Gesundheitsüberwachung (Health monitoring):** Erfassung von Gesundheitsdaten in Echtzeit an der Person (z. B. Puls, Blutdruck, etc.) und ggf. Übertragung eines Alarmsignals, wenn ein Grenzwert über- oder unterschritten wird.

# Kombinierte Indoor&Outdoor Navigation



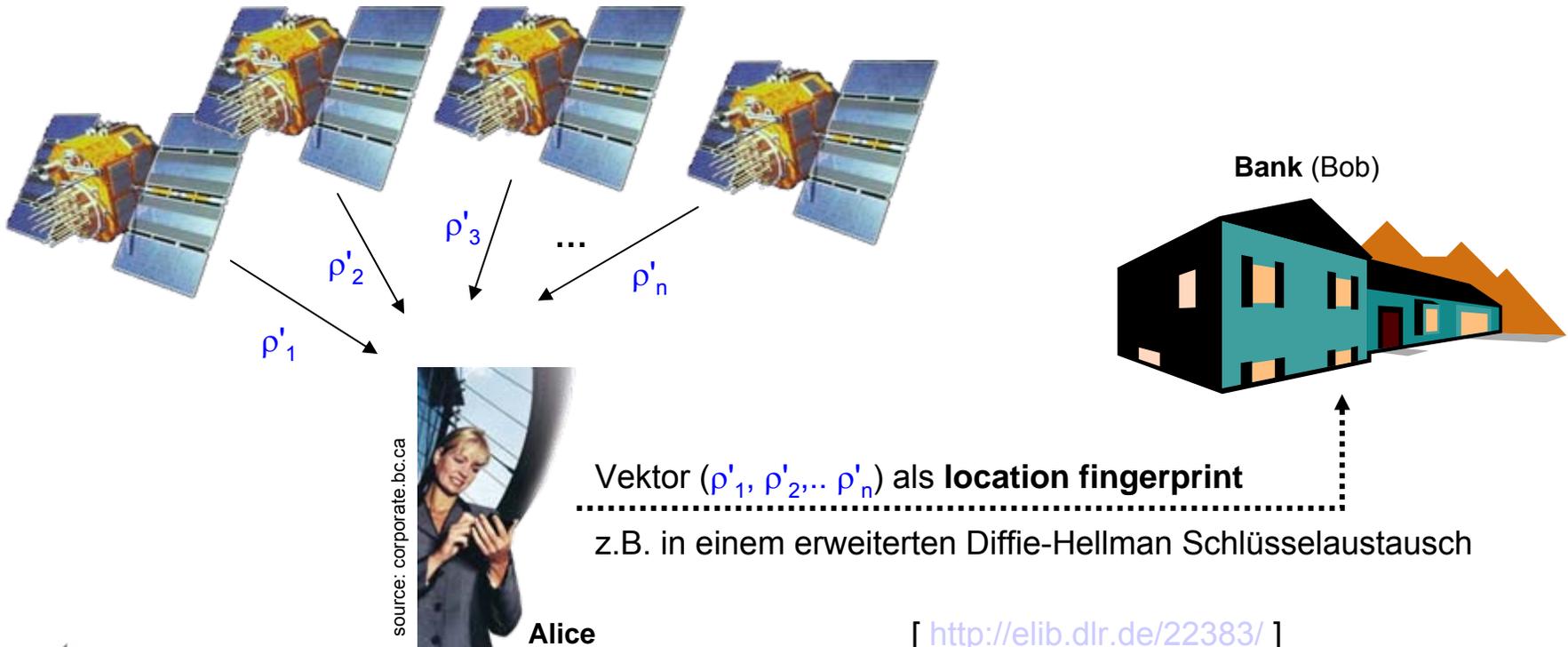
## "Waywatch"-Interface

- GNSS alleine funktioniert in Gebäuden häufig nicht
- WayWatch kombiniert SatNav mit
  - Kompass
  - INS
  - RFID Sensoren
  - Bewegungsmodelle



# Geographische Authentifikation

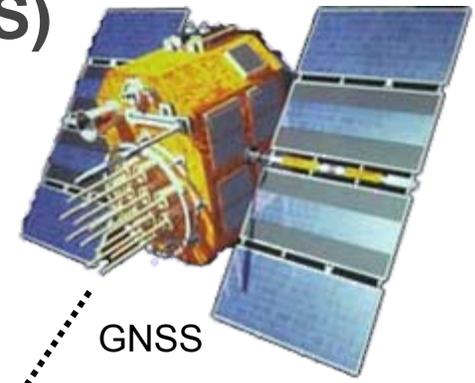
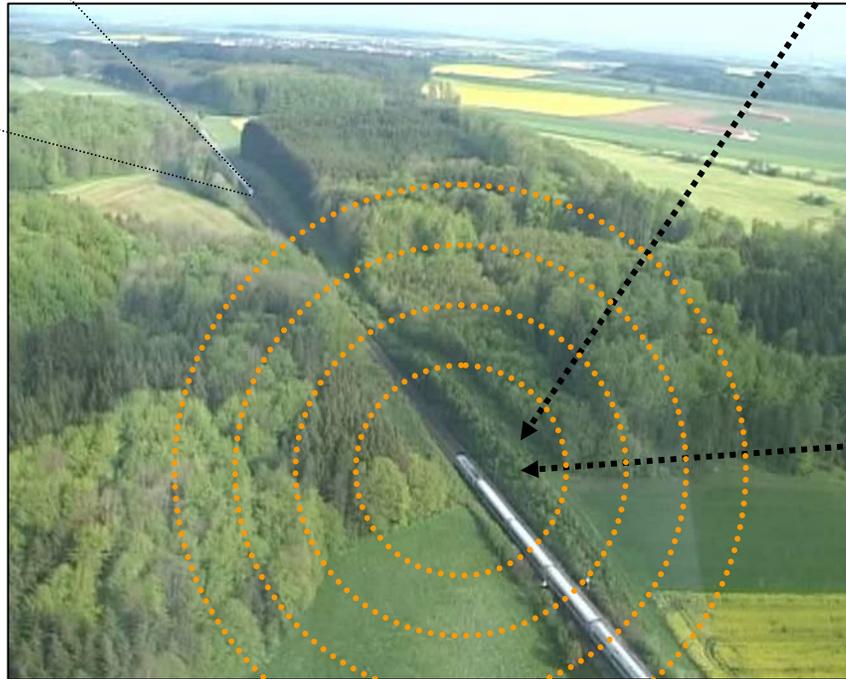
- Authentifikation über Eigenschaften (vgl. Biometrie)
  - zeitliche und örtliche Einzigartigkeit der Signale (Galileo, GPS)
  - Verwendung der Pseudoranges  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  als Alice's "Eigenschaft" (geographischer Fingerabdruck)



# Verkehrliche Anwendungsfelder: Schienenverkehr

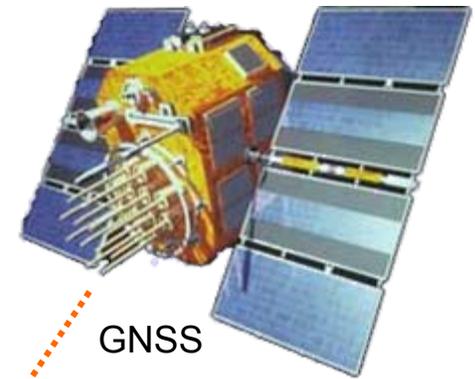
- **Zuglokalisierung:** Bestimmung der Position eines Zugs in geographischer und topologischer Hinsicht. Die topologische Position ist die Basis für viele weitere Automatisierungsfunktionen.
- **Zugsteuerung und -beeinflussung:** Auf der Basis der topologischen Position können Funktionen der Steuerung (automatische Fahren, Zielbremsung) und der Sicherung (Abstandshaltung) realisiert werden.
- **Zugvollständigkeits- und Zuglängenüberwachung:** Positionsbasierte Überwachung zur Erkennung unerwünschter Zugtrennungen, z.B. in Form einer Längenüberwachung
- **Infrastrukturvermessung:** Erfassung und Auswertung des Zustands der Strecke (Gleise, Brücke, Tunnel etc.)
- **Energieoptimales Fahren:** Automatisierungssystem, das auf der Grundlage der topologischen Position die aus Energieverbrauchssicht optimalen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Verzögerungen (Generatorische Bremse) auslöst.
- **Fahren im absoluten und relativen Bremswegabstand:** Das Fahren im Bremswegabstand verlangt eine extrem genaue Bestimmung des relativen Abstands. Diese kann aus der Differenz zweier absoluter Positionen bestimmt werden.
- **Frachtüberwachung:** Die Erfassung und Auswertung des Zustands der Fracht
- **Dispositions-Unterstützung:** Erfassung und Auswertung des Zustands der Schienenfahrzeuge, ggf. Auslösung einer Anforderung einer zustandsabhängigen Wartung oder Instandsetzung.
- **Fahrplanverfolgung:** System zur Feststellung, ob der Zug sich zum aktuellen Zeitpunkt noch innerhalb des vorgegebenen Fahrplans befindet, ggf. Anzeige der Abweichung.
- **Kollisionswarnung:** System zur Erkennung und Warnung bei möglichen Kollisionen, eine Ergänzung in Richtung automatischer Eingriff ist denkbar.
- **Triebfahrzeugführerassistenzsysteme:** Unterstützung für fahrplangenaues oder energie-optimales Fahren, Ergänzung um Kollisionswarnung.
- **Bahnsteigbezogene Warnansagen:** Automatische Warnung am richtigen Bahnsteig bei Einfahrt oder Durchfahrt des Zugs.

# Railway Collision Avoidance System (RCAS)



# SatNav in Verbindung mit Kommunikation

➤ Sensorinformationen vorausfahrender Züge



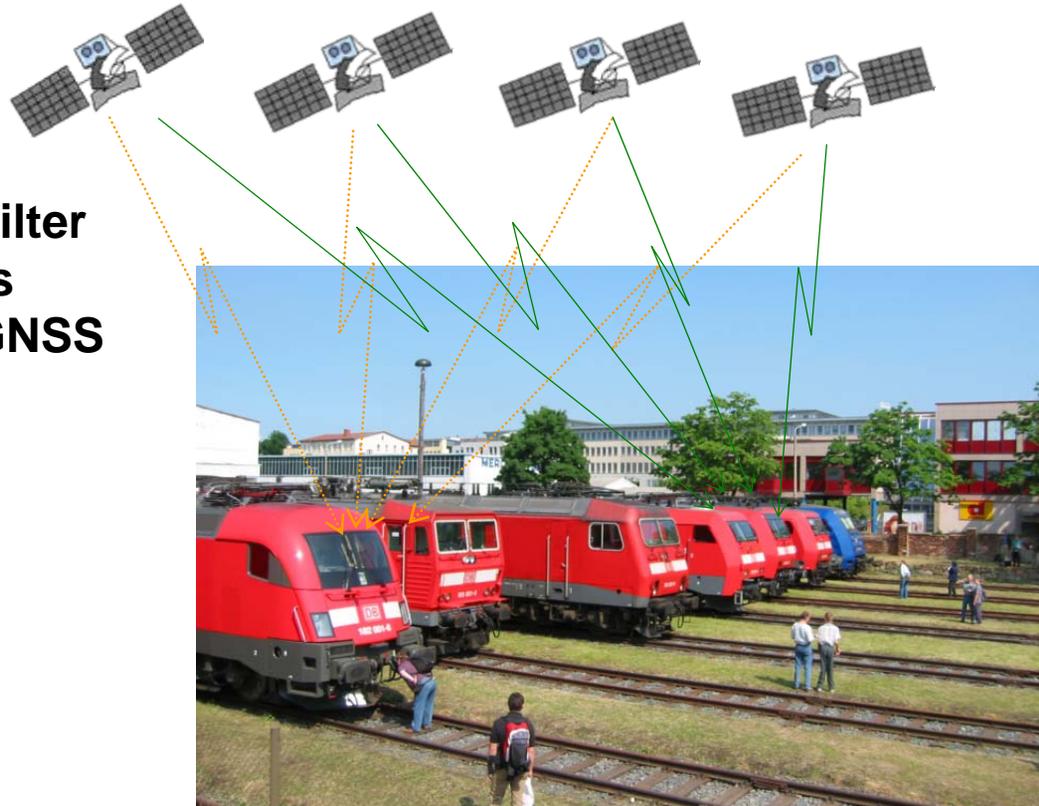
# Verkehrliche Anwendungsfelder: Intermodale Ansätze

- **Integratives Flotten- und Frachtmanagement (z. B. Schiff-Hafen-Schiene):** Nutzung der Positionsangaben seeseitig bereits bestehender Identifizierungssysteme (AIS) für den landseitigen Übergang auf Frachtflotten mit dem Ziel der Verbindung zu landseitigen Logistiksystemen über standardisierte Schnittstellen.
- **intermodale Frachtverfolgung:** Zeit- und ortsgenaue Verfolgung von Gütern über die gesamte Logistikkette unabhängig von Verkehrsträger durch Einsatz miniaturisierter Empfänger (zum Beispiel auf Basis von FPGA's).
- **Verkehrsträgerübergreifende Reiseempfehlung in Echtzeit:** Entwicklung standardisierter Telematik-Plattformen für den mobilen und portablen Einsatz zur multimodalen Verkehrsdatenerfassung und Verkehrsinformation, aufsetzend auf verbreiteten Kommunikations-, Ortungs- und Multimedia-Standards (z. B. auf der Basis von COTS-Produkten), Generierung vielseitiger Mehrwertdienste auf einem Endgerät, dadurch höhere Akzeptanz und schnellere Marktdurchdringung.
- **erweiterte Telematik/Telemetrie:** Gezieltes Auslösen von Aktionen in (Gefahrgut-) Transporten auf der Basis von Zeit- und Ortsdaten.
- **Umweltdatenerfassung:** durch Fahrzeugflotten mit GNSS-Empfänger und spezifischen Sensoren als kostengünstiges Nebenprodukt (z. B. xFCD), Anwendungen: Generierung von aktuellen Umwelt- oder Verkehrsdaten, Attributierung von digitalen Verkehrsnetzdaten, usw.

# Geographische/Zeitliche Synchronisation

- **Interferenzen durch hohe Fahrzeugdichte in einer geografischen Region**
  - Zuweisung eines ortsspezifischen Zeitfensters (Slot) zur Nachrichtenübermittlung

- **Synchronisation verteilter Systeme über präzises Zeitsignal (Virtueller GNSS Dienst)**



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



**Prof. Dr. Thomas Strang**  
[thomas.strang@dlr.de](mailto:thomas.strang@dlr.de)