

# Galileo-Systemsimulation zur Bewertung kombinierter Methoden der Positionsbestimmung

Jörg Pfister & Uwe Plank-Wiedenbeck  
pwp – systems GmbH, Otto-Hahn-Str. 20a, D-65520 Bad Camberg  
und  
Frank Zimmermann & Eduard Steindl  
VEGA Informations-Technologien GmbH, Hipertstraße 20A, 64295 Darmstadt

## 1. Einführung

Galileo wird neue Arbeitsplätze schaffen. Wie Europa und Deutschland hiervon profitieren können, wird entscheidend davon abhängen, ob es gelingt, Innovationen umzusetzen und in die Anwendung zu führen. Investitionsentscheidungen erfordern zur Risikominimierung eine qualifizierte Beurteilung des Mehrwerts einer Anwendung. Im Auftrag der ESA realisiert ein internationales Konsortium unter Führung von VEGA einen Galileo-Systemsimulator, die Galileo System Simulation Facility (GSSF). Lange vor Inbetriebnahme von Galileo erlaubt GSSF bereits einen Blick in die Zukunft der Satellitennavigation. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei die Bereitstellung von Funktionalität zur Analyse und Bewertung des Galileo-Systems hinsichtlich Verfügbarkeit, Genauigkeit und Systemintegrität sowie die Produktion von simulierten Galileo-Rohdaten, welche vorab experimentellen Zwecken dienen können. Vergleiche unter Einbeziehung von GPS sind ebenso möglich wie die Simulation von EGNOS oder des geplanten japanischen QZSS.

GSSF durchlief eine umfangreiche Validierungskampagne, welche zum einen den Vergleich mit GPS-Messdaten betraf zum anderen eine unabhängige Analyse mittels der bei ESA (ESOC) verfügbaren Software zur präzisen Bahnbestimmung mit einschloss. Die Validierung wurde erfolgreich abgeschlossen, wobei derzeitige Aktivitäten eine Kalibrierung der Satelliten-spezifischen Modellierung mit GIOVE-A als dem ersten Galileo-Satelliten betreffen. Simulationswerkzeuge wie GSSF sind geeignet, die Entwicklung von Galileo-Anwendungen zu unterstützen. VEGA hat sich durch eine enge Einbindung in das Galileo-Programm einen hohen Grad an Systemwissen und Simulationstechnologie erworben. Diese Erfahrung soll der Anwenderseite zur Verfügung gestellt werden. Typischerweise existiert dort ein fundiertes Domainwissen, welches in Kombination mit geeigneter Modellierungs- und Simulationstechnologie eine frühe und qualifizierte Beurteilung des Mehrwerts einer Anwendung erlaubt. Ziel ist es, eine Brücke zwischen Innovation und Anwendung zu schlagen.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Verbreitung von Galileo hängt davon ab, ob es gelingt die entstehenden Vorteile dieser neuen Technologie für den Anwender greifbar zu machen. Auf zahlreichen Informationsveranstaltungen stand diese Frage aus der „user community“ im Zentrum des Interesses und konnte mit dem speziellen Bezug auf die jeweilige Anwendung oft nur unzureichend beantwortet werden. Technische Argumente wie eine stärkere Sendeleistung und homogenerer Abstrahlcharakteristika durch Galileo Satelliten werden hier mit politischen Argumenten zur garantieren Systemverfügbarkeit gemischt. Typischerweise sehen sich die meisten Anwendern jedoch nicht in der Lage, aus solchen akademischen Fakten abzuleiten, in welchem Maße die Reise- oder Transportzeit verkürzt werden kann, welche Kapazitätssteigerungen sich für ihre jeweilige Betriebsweisen ergeben, in welchem Maße die Sicherheit erhöht werden kann, um nur einige Beispiele zu nennen. Solche praktischen Vorteile müssen für konkrete Beispiel zusammen mit dem Anwender erschlossen werden, um das notwendige Vertrauen in das Europäische Satellitennavigationssystem aufzubauen, das einer Erfolgsgeschichte a la Ariane oder Airbus voraus gegangen ist. Genau diesem Prozess widmet sich die pwp-systems als Partner von VEGA und vereint sowohl detailliertes technisches Know how mit umfangreicher Anwenderkenntnis, um den Technologie-Transfer in praktische Anwendungen voranzutreiben.

Zusammen mit über 40 europäischen Firmen und Institutionen nehmen pwp-systems und VEGA an einem Integrierten Projekt der EU, mit dem Titel „Co-operative Networks for Intelligent Road Safety (COOPERS)“ teil. Zielsetzung ist es, eine Methodik zur integrierten Nutzung von Verkehrsplanung, Verkehrsmanagement und Verkehrsinformation zu etablieren, sowie die Entwicklung fortschrittlicher und kosteneffizienter Fahrerassistenzsysteme zu fördern. In diesem Rahmen etablieren VEGA und pwp-systems gemeinsam einen Prozess, um die Entwicklung von „robuster Navigation“ effizient zu unterstützen. Darüber hinaus soll durch den adäquaten Einsatz von GSSF die für die Zukunft zu erwartenden Vorteile für den speziellen Bereich „eSafety“ erschlossen und verbreitet werden. Wobei die Gestaltung dieses Prozesses allgemeingültig ausgelegt wird, um die Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfelder zu gewährleisten. Dieses Vorgehen wird mittels Messfahrten und Simulationsrechnungen insbesondere die Identifikation einer geeigneten Kombination aus Sensorik und Algorithmik sowie die mögliche Leistungsverbesserung durch Galileo demonstriert.

## **2. Ausgangslage und Problemstellung der Anwendung**

Die Unfallstatistiken zeigen einen hohen Anteil von Unfällen auf der freien Strecke, die durch zu hohe Geschwindigkeiten und ein Abkommen von der Fahrspur hervorgerufen werden. Die Folgen dieser Unfälle sind besonders schwer, wenn ein Aufprall mit einem entgegenkommenden Fahrzeug oder mit einem Baum hervorgerufen wird. Dieser und ähnliche Unfalltypen häufen sich an Wochenenden, bei schlechten Sichtverhältnissen und in ländlichen Gegenden. Betroffen sind überwiegend jüngere Fahrer mit erhöhtem Alkoholspiegel oder ältere Fahrer bei schlechten Sichtverhältnissen.

Es hat insbesondere in Deutschland zahlreiche Initiativen zur Reduzierung dieser Unfälle gegeben, mit denen zwar Erfolge erzielt wurden, die aber weiterhin hohe Unfallzahlen nicht verhindern konnten. Das Problem ist in erster Linie, dass die Fahrer die Trassierungselemente (Kurvenradien) der vor ihnen liegenden Streckenabschnitte in Verbindung mit dem Fahrbahnzustand (Nässe, Glatteis) nicht richtig einschätzen. Warnschilder oder Geschwindigkeitsbegrenzungen werden ignoriert, da sie von vielen Fahrern als übertrieben empfunden werden.

Kooperative Systeme auf Basis von Fahrzeug-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation sollen auch bei diesen Unfalltypen für mehr Sicherheit sorgen. Die Entwicklung konzentriert sich aber derzeit auf die generelle Übertragung von Fahrbahnzuständen. Die Kombination von gefährlichen Fahrbahnzuständen mit Trassierungselementen wird derzeit jedoch nicht adressiert. Warnungen an den Fahrer, beispielsweise dass die Geschwindigkeit für die vor ihm liegende Kurve bei der dort zu erwartenden Nässe zu hoch ist, und dass ein Abkommen von der Fahrbahn zu befürchten ist, sind mit diesen Systemen noch nicht möglich.

Zur Effizienzsteigerung der kooperativen Fahrerassistenzsysteme ist eine präzise und hoch zuverlässige Ortung der Fahrzeuge erforderlich. Damit könnten entsprechende Datenbankinformationen im Fahrzeug abgelegt werden, die unveränderlichen Elemente der Straßencharakteristik beinhalten (Kurvenradien). Die derzeit am Markt verfügbaren Navigationssysteme können aber insbesondere die Integrität der Daten nicht gewährleisten. Es sind in bestimmten Situationen Positionsfehler von 100 Metern möglich, ohne dass die Systeme die Ungenauigkeit ihrer Daten bzw. die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers anzeigen. Systeme, die diesen Anforderungen genügen, sind für den Pkw-Massenmarkt zu teuer, da sie neben der GPS-Einheit weitere hochwertige Sensoren zur integrierten Navigation verwenden.

## **3. Lösungsansatz**

### **3.1 Bordausstattung**

Im Fahrzeug wird ein Navigationssystem mit hoher Genauigkeit und sehr hoher Zuverlässigkeit und Integrität der Positionsdaten implementiert. Darüber hinaus wird eine Streckendatenbank, die primär zum Routing verwendet werden kann, um Streckenparameter erweitert, die kritische Trassierungselemente enthalten. Die ermittelten Daten werden Fahrerassistenzsystemen zur Verfügung gestellt, gleichzeitig kann das System andere im Fahrzeug vorhandene Daten nutzen. In der Windschutzscheibe ist ein Display integriert.

### **3.2 Kernanwendungen**

Der Bordcomputer erkennt auf Basis der ihm vorliegenden Streckenparameter, der Informationen über den Straßenzustand und der gefahrenen Geschwindigkeit kritische Situationen. Auf dieser Basis können unterschiedliche Anwendungen im Fahrzeug implementiert werden:

- Bei Gefährdung wird der Fahrer gewarnt.
- Es ist auch denkbar, dass die Geschwindigkeit herabgesetzt wird, Bremsungen eingeleitet werden oder technische Systeme wie ESP angesprochen werden.
- Über Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation können entgegenkommende Fahrzeuge gewarnt werden.

Bei schlechter Sicht (Dunkelheit, Regen, Nebel) auf Landstraßen kann die voraus liegende Strecke schematisch auf das Windschutzscheiben-Display gespielt werden. Der Fahrer kann damit erkennen, ob vor ihm eine Rechts- oder Linkskurve kommt und ob es sich um enge oder lang gezogene Kurven handelt.

Insbesondere bei Gegenverkehr mit blendenden Scheinwerfern wird damit die Sicherheit erhöht, weil dem Fahrer alle notwendigen Informationen zur Verfügung gestellt werden. Dieser innovative Ansatz stellt gleich in mehrfacher Hinsicht eine große Herausforderung dar. Sowohl das Ortungsmodul und seine Abstimmung mit einer konsistenten Datenbank, als auch die Anzeigetechnologie bis hin zur angemessenen Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion sind wichtige Bausteine neben der Nutzung von intelligenten Kommunikationstechniken für den unmittelbaren Nahbereich.

Das System ist vergleichbar mit der Unterstützung der Piloten im Luftverkehr. Die volle Verantwortung für das Fahren trägt nach wie vor der Fahrer. Durch das verbesserte Situationsbewusstsein erhält er aber optimale Unterstützung durch umfassende Informationen über sein Umfeld. Sofern gefährliche Situationen

drohen, erhält der Fahrer entsprechende Warnungen. Bei falscher Reaktion können die Assistenzsysteme in den Fahrablauf eingreifen.

### **3.3 Weitere Anwendungen**

Das Navigationssystem mit seinen hohen Integritätsanforderungen steht auch für andere Anwendungen zur Verfügung. Insbesondere Mautsysteme und Mobilitätsdienste können auf die Daten zugreifen. Bei Mautsystemen ist davon auszugehen, dass zukünftig eine dynamische Bemautung auch des untergeordneten Straßennetzes umgesetzt werden soll. Dabei kann nicht - wie bei der deutschen Lkw-Maut - auf Unterstützung durch Bakensysteme gesetzt werden. Vielmehr ist eine hoch zuverlässige Navigation erforderlich.

### **3.4 Schlüsseltechnologie fehlertolerante Navigation**

#### **3.4.1 Gesamtansatz**

Die fehler-tolerante Navigation ist die Schlüsseltechnologie in diesem Ansatz. Sie muss als Einheit aus Sensorik, Datenbank, Prozessor und Software gesehen werden. Die kritischen Anforderungen sind auf der einen Seite die geforderte Integrität und Genauigkeit der Daten, auf der anderen Seite der maximal einzuhaltende Kostenrahmen für solche Systeme im Pkw-Markt.

Folgende Komponenten werden in einem integrierten Ansatz verwendet:

- Galileo-Empfänger,
- Tachowellen-Daten,
- Drehraten-Sensor (Gyro) und
- Differential-Odometrie.

Der Kern dieses Systems ist die optimale Fusion der unterschiedlichen Sensordaten. Mit der Entwicklung eines entsprechenden Algorithmus sollen die Stärken der unterschiedlichen Sensoren genutzt werden, während die Schwächen und Fehler eines einzelnen Sensors erkannt und kompensiert werden. Durch eine Trennung von Sensormodellen und Systemgleichungen ist gewährleistet, dass eine generelle Unabhängigkeit von einer einzelnen Sensor-Technologie erzielt werden kann. Diese Eigenschaft ist zunächst essentiell für die Algorithmusentwicklung, denn sie erlaubt ein hohes Maß an Flexibilität. Mit der Verwendung von dissimilaren Sensorinformationsquellen wird die Abhängigkeit von einzelnen Sensoren minimiert. Sowohl Sensorausfälle als auch -fehler werden handhabbar und können im Betrieb des Systems kompensiert werden.

Ein solches Konzept liefert eine kontinuierliche und robuste Navigation. Ein mehrstufiger Prozess zur Fehlerdetektion und -isolation erhöht die Integrität der Navigationsdaten. Auf dieser Basis erreichen integrierte Navigationslösungen völlig neue Leistungsstufen im Vergleich zu bisher existierenden Systemen.

#### **3.4.2 Ansatz der Differential-Odometrie bei der Koppelnavigation**

Eine wesentliche Unterstützung erfährt das integrierte Navigationssystem durch die verbesserte Koppelnavigation. Mit Sensoren zur Erfassung der Winkelgeschwindigkeit (Gyros) kann die Richtung des Fahrzeugs bestimmt werden. Zusammen mit der Information der Geschwindigkeit (z.B. von der Radumdrehung) werden Bewegungsvektoren errechnet und damit die Fahrstrecke und -richtung ermittelt. Verfahren der Koppelnavigation besitzen die Eigenschaft, dass jede einzelne Messung sehr genau ist und nur winzige Fehler enthält. Diese Fehler summieren sich aber auf und wachsen mit der zurückgelegten Distanz (Drift). Der große Vorteil dieser Sensoren ist, dass sie immer und überall funktionsfähig sind und kaum Störungen von außen unterliegen. Durch zwei neue Ansätze kann die Qualität der Koppelnavigation deutlich verbessert werden:

Der Einsatz neuartiger Algorithmen innerhalb von intelligenten Systemen bewirkt eine signifikante Reduzierung dieser Drift vor allem für so genannte 'low cost' Sensoren aus dem Automobilbereich. Dadurch zeigt der fahrzeugautonome Teil auch in Abwesenheit der Satellitennavigation (z.B. durch Abschattung) ein deutlich überlegenes Verhalten gegenüber herkömmlichen Lösungen. Somit kann hier eine neue Qualität der Koppelnavigation erreicht werden.

Die Differential-Odometrie geht von dem Prinzip aus, dass bei einer Kurvenfahrt sich das innere Rad schneller dreht als das äußere. Aus der Differenz der beiden Drehgeschwindigkeiten kann daher auf die Richtungsänderung geschlossen werden. In dem Multi-Sensorkonzept können damit die auftretenden Fehler der in dem niedrigen Preisspektrum verfügbaren Drehraten-Kreisel hervorragend kompensiert werden.

Als weitere Option können zusätzliche Sensoren durch eine geeignete Modellierung in das Gesamtsystem mit dem oben aufgezählten Spektrum integriert werden.

### 3.4.3 Potenziale durch Galileo

Die erzielbare Genauigkeit zur Positionsbestimmung mittels Satellitennavigation hat im vergangenen Jahrzehnt beeindruckende Fortschritte gemacht. Genauigkeiten bis weit in den Submeterbereich wurden in statischen und kinematischen Demonstrationen nachgewiesen. In Punkto Zuverlässigkeit ergeben sich aber erst durch Galileo neue Möglichkeiten, um derzeit noch bestehende Barrieren zu überwinden. Damit können mit Galileo vorhandene Anwendungen qualitativ verbessert und neue Anwendungen überhaupt erst ermöglicht werden.

In dieser Hinsicht spielt der abstrakte Begriff des "Signal in Space" (SIS) eine entscheidende Rolle. Durch SIS wird die Qualität der Ortungssignale in der Luft gerade oberhalb des Empfängers beschrieben. Für die geplante Anwendung ist es aber nicht ausreichend, wenn mögliche Fehler in der Positionsberechnung erst auf den letzten Metern der Signal-Laufzeit durch Reflexionen oder Störungen hervorgerufen werden. In diesem Punkt geht Galileo einen wesentlich weitgreifenderen Ansatz mit der Einführung einer Service-Garantie als die GPS-Technologie. Galileo bezieht dabei sowohl die Signalfade im Äther in die Betrachtungen mit ein, als auch die Vorgänge im so genannten "user terminal".

Der technische Fortschritt der letzten 30 Jahre wird auch gegenüber einem nachgebesserten GPS eine ganze Reihe von Leistungssteigerungen ermöglicht, welche sich auf die Qualität der Atomuhren in den Satelliten, auf die Signalstruktur und auf die Verarbeitung in den Empfängern auswirken wird. Ebenso wichtig sind die zivile Kontrolle des Europäischen Systems, seine erhöhte Robustheit gegenüber Störeinflüssen sowie die eingebauten Integritätsinformationen.

## 4. Stand der Technik

### 4.1 Kriterien

Es ist zwischen den unterschiedlichen Anforderungsarten, wie sie allgemein an die Ortung und Navigation gestellt werden und wie sie für das vorliegende Vorhaben von Relevanz sind, zu differenzieren. Im folgenden sind die vier wichtigsten Kenngrößen aufgelistet, die für Anwendungen, wie sie im Projekt medon adressiert werden, wichtig sind:

- **Genauigkeit:**  
Meistens bezieht man sich hier auf die Positionsgenauigkeit, für die der Positionsfehler in Metern angegeben wird. Diese Angabe ist auch für die vorliegende Anwendung entscheidend. Weitere Navigationszustände wie z. B. Geschwindigkeit, Richtung, Drehrate, etc. sind zwar für die Berechnungen im Ortungsmodul von Bedeutung, spielen aber im Rahmen von medon nur eine untergeordnete Rolle.
- **Verfügbarkeit:**  
Unter Verfügbarkeit ist die mögliche Nutzung des jeweiligen Sensors zu verstehen. Sie gibt an, ob auf Anfrage von dem Ortungsmodul ein gültiges Resultat geliefert werden kann.
- **Korrektheit:**  
Mit dieser Kenngröße wird hinterfragt, ob die aufgetretenen Fehler mit den in der Genauigkeit angegebenen Fehlerverteilung übereinstimmt. Gehen die Fehler der Positionsberechnung deutlich darüber hinaus, so ist die Korrektheit nicht mehr gewährleistet.
- **Wartezeit:**  
Hier ist die Zeit gemeint, die ein Nutzer warten muss, bis er auf Anfrage (direkt oder durch Anforderung einer Funktion) eine gültige Positionsmeldung erhält. Es werden 4 Fälle unterschieden: Kaltstart, Warmstart, Hot-Start und Betrieb. Man spricht von einem Kaltstart, wenn das Gerät eingeschaltet wird und alle Initialisierungsverfahren durchlaufen muss. Ein Warmstart liegt vor, wenn das Gerät beim Start oder Neustart mit zusätzlichen Navigationsinformationen versorgt wird um die Initialisierung zu beschleunigen. Der Hot-Start beschreibt den Zustand, wenn das Ortungsmodul nach einen Ausfall wieder mit brauchbaren Messdaten versorgt wird. Im Zustand Betrieb sind alle notwendigen Messdaten verfügbar und die Wartezeit wird durch die Positions-Update-Frequenz bestimmt (z. B. 1 Hz).

### 4.2 Verfügbare Produkte und derzeitige Entwicklungen

Im Automobilbereich kommen derzeit Navigationssysteme zum Einsatz, die mit sehr preiswerter Sensorik auskommen. In der Regel wird ein einfacher GPS-Empfänger in Verbindung mit einem low-cost-Gyro verwendet. Zusätzlich wird das Tachosignal abgegriffen. In der Regel werden die erfassten Sensorsignale mit einer Streckendatenbank abgeglichen. Bei GPS funktioniert das durch heranziehen auf den

Kartenverlauf der Strasse (Road-Snapping), während dem Gyro-Signal eine Kurve zugeordnet wird. Eventuelle Fehler in Datenbank oder Messsignal können vom Nutzer nicht erkannt werden. Ist keine Datenbank vorhanden, wie z. B. bei 'Off Board Navigation', so kann bei gemeldeten GPS-Fehlern, bei Wegfall des Signals oder bei Unstimmigkeiten nur eine kurze Zeit mit der Koppelnavigation gearbeitet.

Für die Anwendung des Routing können mit diesem Verfahren ausreichende Ergebnisse erzielt werden. Die auftretenden Fehler werden vom Nutzer meist nicht wahrgenommen:

- Wenn beispielsweise die ermittelte Position auf der freien Strecke hundert Meter (in transversaler Richtung) von der tatsächlichen Position abweicht, ist dies auf der digitalen Kartendarstellung nicht ablesbar.
- Bei Knotenpunkten, an denen abgelenkt werden soll, wird der Fahrer rechtzeitig vorher informiert. Da in einer Fahrzeit von 10 Sekunden und einer Geschwindigkeit von 70 km/h etwa 200 Meter zurückgelegt werden, ist selbst ein Positionsfehler von 100 Metern unkritisch, zumal bei Abbiegevorgängen dieser Fehler durch Gyro und Road-Snapping auch entlang der Fahrtrichtung kompensiert wird.
- Am problematischsten ist die Ortung und Navigation in städtischen Bereichen. Zum einen sind hier die GPS-Fehler insbesondere aufgrund von Abschattungen und Multi-path-Effekten am größten, zum anderen gibt es zahlreiche parallel liegende Alternativrouten in kurzem Abstand, so dass der Abgleich mit der digitalen Karte schwieriger wird. Die in den Systemen verarbeiteten Logiken können mittlerweile aber auch hier brauchbare Ergebnisse liefern, sofern das Fahrzeug einmal die richtige Positionen erfasst hat. Kommt das Fahrzeug hingegen aus einer Tiefgarage, so kann es eine ganze Weile dauern, bis das System Tritt gefasst hat.

Für anspruchsvollere Anwendungen, wie sie im medon-Projekt adressiert sind, reichen die mit diesen Systemen erzielbaren Qualitätsstufen nicht aus. Insbesondere die verwendeten Gyros haben einen so hohen Drehratenfehler, dass sie nur für kurze Zeit einen Ausfall des GPS kompensieren können. Dadurch entstehen Positionsfehler, die nicht mehr akzeptabel sind. Entscheidend ist aber, dass die Systeme keine Integritätsdaten produzieren können. Das heißt, sie liefern keine Informationen, mit welcher Fehlerwahrscheinlichkeit die erzeugten Daten behaftet sind.

## 5. Simulationsansatz

Solange das Galileo-System noch nicht aufgebaut und betriebsbereit ist, besteht das Problem, dass noch keine Systeme in repräsentativen Anwendungsfeldern vorgeführt werden können. Daher ist es erforderlich, einen Ansatz mit realen Messversuchen in Verbindung mit Simulationen durchzuführen. Hierfür bietet sich insbesondere der offizielle Galileo Simulator GSSF mit der Zusatzmodul (POSAT – Position Solution Analysis Tool) an.

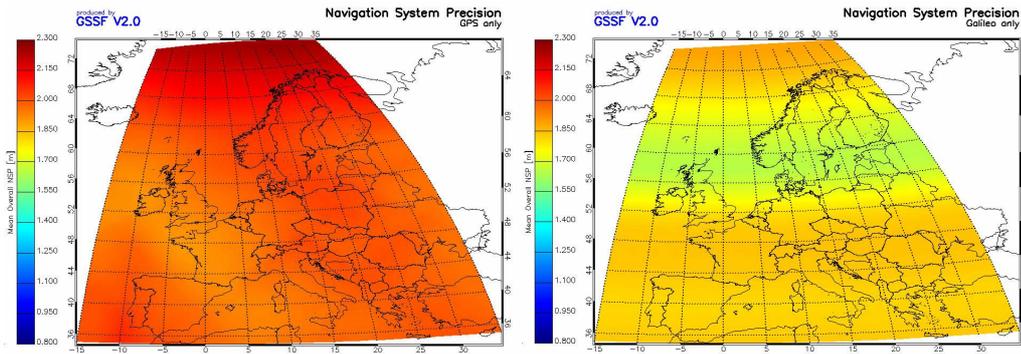
### 5.1 Der Galileo-Systemsimulator GSSF

Im Auftrag der ESA/ESTEC hat ein internationales Konsortium unter Führung der VEGA GmbH aus Darmstadt einen Galileo-Systemsimulator entwickelt. Die „Galileo System Simulation Facility (GSSF)“ erlaubt lange vor Inbetriebnahme von Galileo bereits einen Blick in die Zukunft der Satellitennavigation. Die Hauptaufgaben von GSSF bestehen in der Vorhersage der Leistungsfähigkeit des Galileo-Systems sowie in der Bereitstellung simulierter Galileo-Daten, welche für experimentelle Zwecke eingesetzt werden können.

Hierzu stellt GSSF unterschiedliche Modelle zur Verfügung, deren Komplexität an die jeweilige Zielsetzung angepasst ist. Hierbei werden neben der Bewegung der Navigationssatelliten insbesondere auch die Einflüsse der Umgebungsbedingungen auf das Signal, das Galileo-Bodensegment sowie der eigentliche Nutzer im lokalen Umfeld modelliert. GSSF erlaubt Analysen zur Vorhersage der Navigationsgenauigkeit und Integrität für spezifizierte Zeiträume und Positionen, bis hin zu einer regionalen oder globalen Abdeckung. Im Einzelnen können Bewertungsgrößen wie Sichtbarkeit, Geometrie, Positionsfehler und Integrität bestimmt werden, sowie die zugehörige Verfügbarkeit und Kontinuität des Navigationsdienstes über der Zeit. Neben Analysen zur Interferenz mit anderen Navigationssystemen ermöglicht GSSF auch eine Analyse des Fehlerbudgets, d.h. der individuellen Beiträge umgebungsbedingter Störeffekte auf die Qualität des Navigationssignals. Neben statischen sind auch mobile Empfänger darstellbar. Zudem ist GSSF nicht auf die Simulation von Galileo beschränkt, sondern erlaubt für vergleichende Untersuchungen auch die Simulation von GPS und so genannter „Space-Based Augmentation Systems (SBAS)“ wie z.B. EGNOS.

Neben dieser Vorhersage der Galileo-Systemparameter stellt die Bereitstellung von simulierten Rohdaten im RINEX-Format einen weiteren Einsatzbereich von GSSF dar. Diese Rohdaten eignen sich für experimentelle Zwecke. Hierzu zählt zum einen die Verifikation der Elemente des Galileo-Missionsbodensegments, zum anderen aber auch die Entwicklung möglicher Galileo-Anwendungen.

Die nächsten zwei Abbildungen zeigen eine Vergleichende Analyse der Positionsgenauigkeit im 10 Tages-Mittel über Europa unter Annahme eines Zweifrequenzbetriebs, GPS (links) & Galileo (rechts)



**Bild 1:** GSSF Analyse der Positionsgenauigkeit

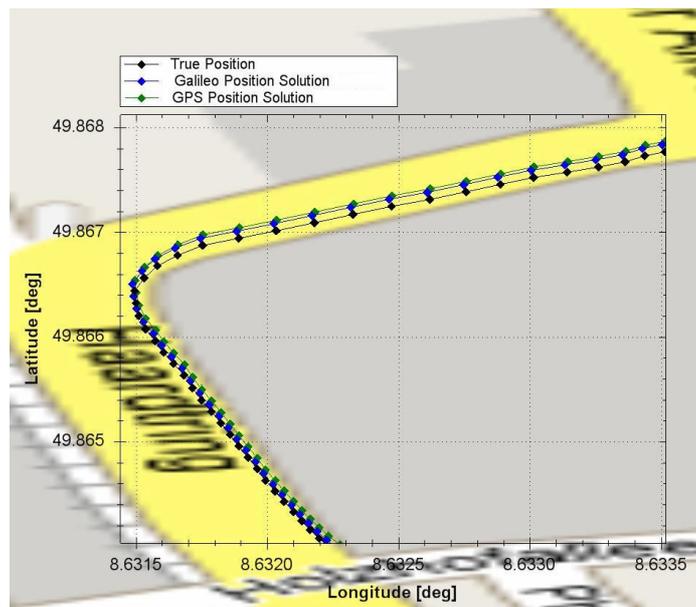
Die Validierung von GSSF erfolgte in enger Zusammenarbeit mit ESA/ESOC unter Verwendung von realen GPS-Messdaten und wird derzeit um eine Kalibrierung mittels Daten des Experimentalsatelliten GIOVE-A ergänzt.

## 5.2 Das Zusatzmodul POSAT

Im Rahmen von medon hat VEGA ein Zusatzmodul, namens POSAT (Position Solution Analysis Tool), für GSSF entwickelt, um die Simulation mit der eigentlichen Positionslösung zu erweitern. Diese Erweiterung dient derzeit der Simulation und Bewertung einer geeigneten Kombination aus Sensorik und Algorithmik zur Positionsbestimmung im Fahrzeug sowie der Untersuchung einer möglichen Leistungsverbesserung durch den Einsatz von Galileo.

POSAT ist eine Komponente die komplett in C# .Net entwickelt wurde. Die Schnittstelle zu GSSF basiert auf standardisierten (RINEX, SP3) und selbst definierten (GDF – GSSF Data File) Dateiformaten. POSAT soll erlauben verschiedene Algorithmen zur Positionsbestimmung zu evaluieren. Zurzeit unterstützt POSAT den Standardalgorithmus für Positionsbestimmung (Least-Squares-Verfahren) basierend auf „pseudo-range“ Messdaten und Satelliten-Bahn Informationen. Mit dem Standard Algorithmus kann der POSAT Benutzer die Positionslösung zwischen GPS und Galileo für eine bestimmte Trajektorie untersuchen. Zusätzlich kann die Auswirkung von verschiedenen Fehlerquellen (z.B. Ionosphärische, Troposphärische und Uhren-Fehler) an der Positionslösung analysieren.

Erste mit POSAT ermittelte Zwischenergebnisse werden jetzt durch Abbildungen dargestellt. Die kommende Abbildung zeigt die Positionsbestimmung unter Benutzung von GPS und Galileo unter Einfluss der ionosphärischen und troposphärischen Störungen.

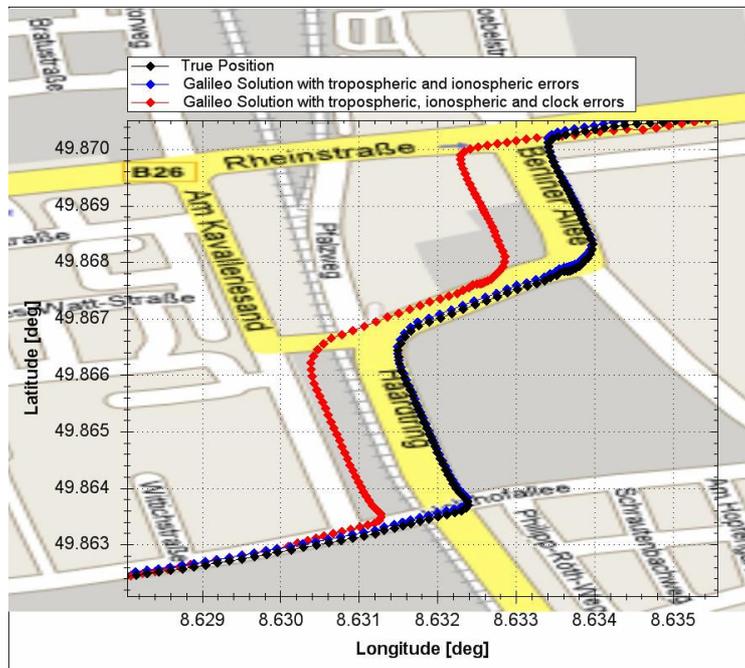


**Bild 2:** Positionsbestimmung mit GPS und Galileo

Die Tabelle zeigt die statistische Auswertung der Ergebnisse.

Abstand von der echten Position	Minimum [m]	Maximum[m]	Durchschnitt [m]
<b>Galileo</b> Mit Fehler durch atmosphärische Störungen [m]	2.169537218	8.080998929	5.646391857
<b>GPS</b> Mit Fehler durch atmosphärische Störungen [m]	10.41282443	11.20151583	10.75147225

Die nächste Abbildung zeigt den Einfluss eines Uhrenfehlers auf die Positionsbestimmung.

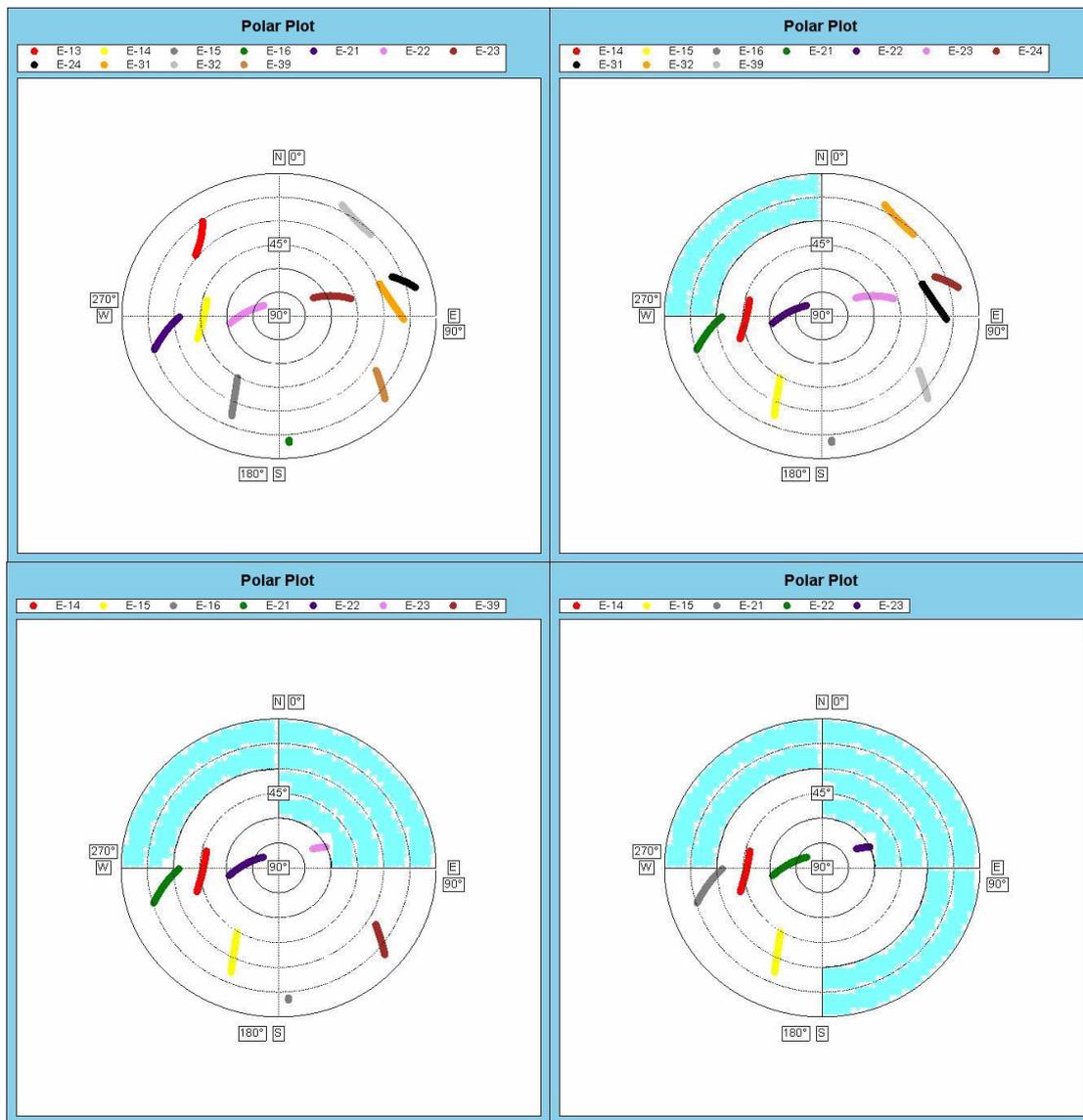


**Bild 3:** Positionsbestimmung von Galileo mit dem Einfluss eines Uhrenfehlers

Die Statistische Auswertung der Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle.

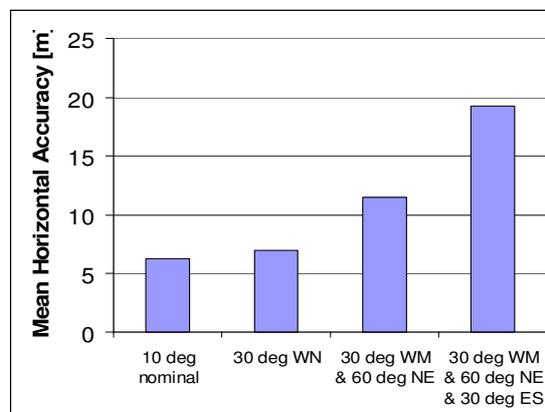
Abstand von der echten Position	Minimum [m]	Maximum[m]	Durchschnitt [m]
<b>Galileo</b> Mit Fehler durch atmosphärische Störungen [m]	2.169537218	8.080998929	5.646391857
<b>Galileo</b> Mit Fehler durch atmosphärische und Uhr Störungen [m]	124.1963858	130.0450926	126.9691201

Der POSAT Benutzer kann den Höhenbegrenzungswinkel (Masking Angle) für alle Himmelsrichtungen (N-E, E-S, S-W und W-N) variieren. Damit kann die Abschattung der Signale durch große Gebäude simuliert werden. Die folgenden Abbildungen zeigen je nach Einstellung der Höhenbegrenzungswinkel in einem Zeitraum von eine Stunde die Sichtbarkeit der Satelliten zu einem statischen Empfänger in Darmstadt (Hilpertstrasse 20 A).



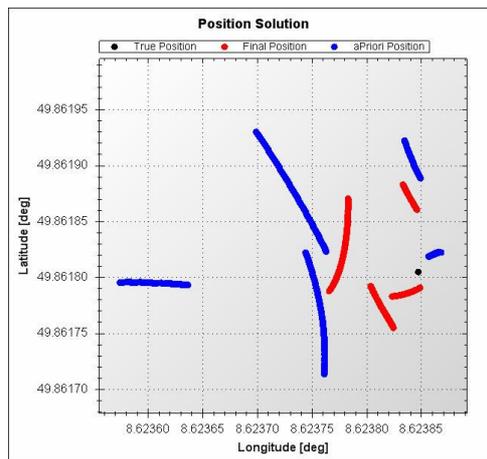
**Bild 4:** Satelliten Sichtbarkeit zu einem statischen Empfänger in Darmstadt

Je nach Einstellung der Höhenbegrenzungswinkel variiert auch die Genauigkeit der Positionslösung. Das wird in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Bild 5:** Statistische Positionsgenauigkeit je nach Einstellung der Höhenbegrenzungswinkel

Die nächste Abbildung zeigt die Positionslösung über eine Stunde für den nominalen Fall mit 10 Grad konstante Höhenbegrenzungswinkel.

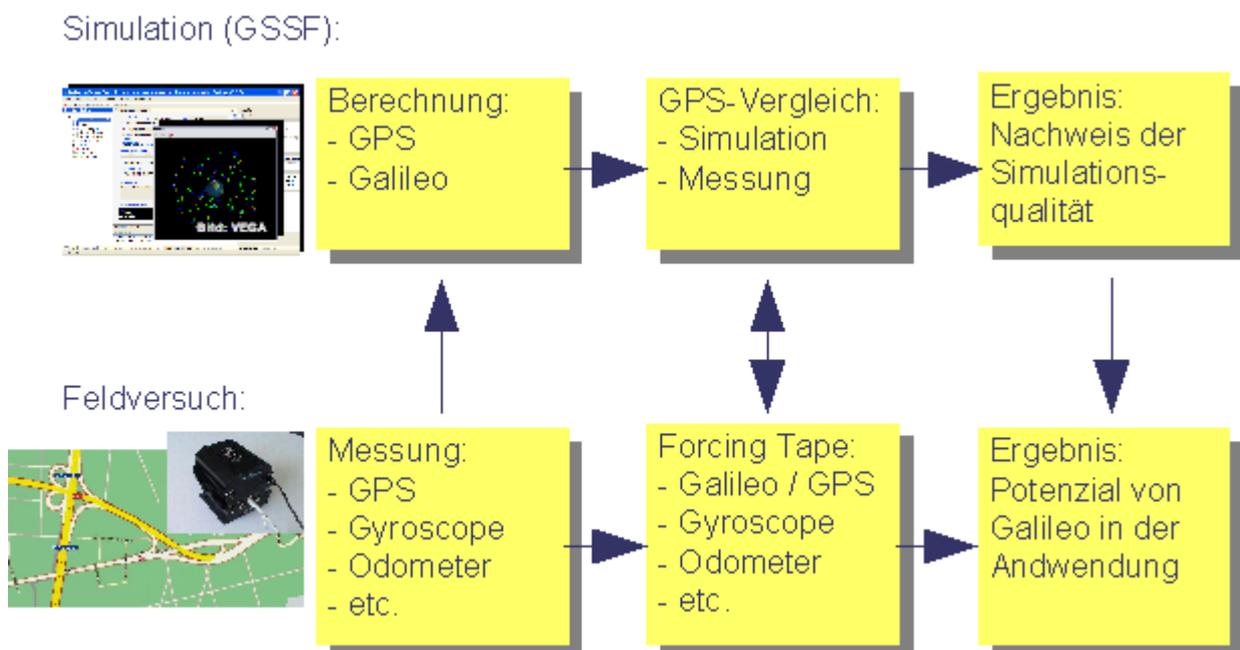


**Bild 6:** Positionslösung für den nominalen Fall

GSSF zusammen mit der Zusatzmodul (POSAT) stellt somit ein Werkzeug dar, welches die Untersuchung und Bewertung eines Einsatzes von Galileo im Verkehrsmanagement effizient unterstützen kann.

### 5.3 Das Einfließen von echten Messdaten in der Simulation

Für die Anwendungen im Verkehrsbereich sind überwiegend Multi-Sensor-Ansätze erforderlich. Für diese Entwicklungsprozesse werden Feldversuche mit einem speziell ausgerüsteten Versuchsfahrzeug durchgeführt, um die relevanten Parameter der Trajektorien aufzuzeichnen. Dies sind im einzelnen die Daten eines modernen GPS-Empfängers (als stand-alone-Lösung und unter Verwendung von EGNOS), sowie kinematische Daten aus dem Fahrzeug (Geschwindigkeit und Drehrate als Information der Richtungsänderung) (**Bild 7**).



**Bild 7:** Mess- und Simulationsansatz

Bei der Planung dieser Feldversuche werden die betrachteten Anwendungen mit ihren besonderen Umgebungsbedingungen berücksichtigt, weil dies ein wesentlicher Einfluss für die resultierende Leistungsfähigkeit darstellt. In diesen Feldversuchen können die typischen Bedingungen für die Anwendungen angemessen nachgebildet werden.

Die Erzeugung von aussagekräftigen Referenz-Trajektorien ermöglicht die Simulation von GPS und Galileo Signalen analog zu den gewählten Reiserouten der Feldversuche. Dieser Ansatz eröffnet zwei Optionen:

1. Die simulierten GPS-Resultate werden den gemessenen GPS-Resultaten gegenüber gestellt, um die realitätstreue Funktionsweise des GSSF zu überprüfen und zu untermauern.
2. Die simulierten Galileo-Resultate können durch das Verfahren des „forcing tape“ direkt in den Feldversuch einfließen und somit die zu erwartende Leistungsfähigkeit durch Galileo bereits heute nachweisen. Die verbleibende Restungenauigkeit lässt sich mit den Ergebnissen aus (1.) klar abschätzen und quantifizieren.

Auf der Grundlage dieser Werkzeuge und Methoden kann bereits in diesem frühen Stadium ein wichtiger Bezug zu den Anwendern hergestellt werden, um die Nutzung und Verbreitung von Galileo frühzeitig zu unterstützen.

## 6. Integration von medon in das EU-Projekt COOPERS

Im medon-Projekt soll für die Kernapplikation eines Fahrerassistenzsystems ein Prototyp entwickelt werden. Das System basiert auf einer neuen fehlertoleranten Navigationseinheit, einer Streckendatenbank und einem Display. Der Prototyp soll alle Elemente in einer technischen Reife beinhalten, die es ermöglicht, in einer dem Projekt nach gelagerten Stufe zu einer Markteinführung und Produktion zu kommen. Dabei erfordern die einzelnen Elemente eine unterschiedliche Bearbeitungstiefe:

- Schwerpunkt der Entwicklung ist die Navigationseinheit. Hier sollen neue Ansätze zur Algorithmik sowie zur Sensorik angewandt werden. Neben der Satellitennavigation, einem Gyro und dem Tachowellensignal soll die Differential-Odometrie integriert werden. Ziel ist die Nutzung eines preiswerten Sensorpools zur Erlangung einer höchst-möglichen Genauigkeit und der Lieferung von Integritätsdaten.
- Die von der Navigationseinheit gelieferten Positions- und Integritätsdaten sollen mit den Informationen einer Streckendatenbank integriert ausgewertet werden. Im Projekt sollen vorhandene Standards für digitale Karten so weiter entwickelt werden, dass sie optimal auf die geplante Anwendung abgestimmt sind. Gleichzeitig müssen die Kosten für die Akquisition und Pflege der Daten minimiert werden. Auch darf nicht wesentlich mehr Speicherplatz als bei vorhandenen Anwendungen in Anspruch genommen werden.
- Die Anwendung der Fahrerassistenz insbesondere bei schlechter Sicht soll beispielhaft demonstriert werden. Im Projekt soll die Darstellung der Strecke auf einem herkömmlichen TFT-Display implementiert werden, das in einem Versuchsfahrzeug (Opel Zafira) auf dem Armaturenbrett installiert wird. Für die angedachte Darstellung in einem in die Windschutzscheibe integrierten Display gibt es derzeit zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte, so dass eine Adaption nach Abschluss von medon möglich ist.
- Das Galileo-System befindet sich erst im Aufbau. Für medon bedeutet dies, dass zunächst auf GPS-Basis entwickelt werden muss. Die Potenziale von Galileo sollen auf Basis des im Auftrag der ESA entwickelten Simulationstools GSSF ermittelt werden. Es ermöglicht insbesondere eine starke räumliche Differenzierung der Ergebnisse sowie einen direkten Vergleich zwischen Galileo und GPS.
- Die medon-unit soll in ein kooperatives Gesamtsystem integriert werden. Dies umfasst zukünftig sowohl innerhalb des Fahrzeugs den Datenaustausch zwischen Systemen, Sensorik und Aktorik als auch die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen sowie der Infrastruktur. Im Projekt soll aufgezeigt und getestet werden, in welcher Form medon für andere Applikationen nutzbar werden kann und welche Daten medon sinnvoll nutzen kann (z.B. Straßenzustandsdaten).
- Abschließend soll im Projekt eine Strategie für die Verwertung der Entwicklungsergebnisse erarbeitet werden. Dies soll auch eine Analyse des Marktes und der sich daraus konkret ableitbaren Anforderungen beinhalten.

Medon ist ein integraler Bestandteil des EU-Projektes COOPERS. COOPERS (Co-operative Networks for intelligent Road Safety) ist ein Integrated Project, das im VI. Forschungs-Rahmenprogramm der Europäischen Kommission zur Förderung ausgewählt wurde. Unter der Leitung der Austria Tech GmbH sind 39 Partner und 14 assoziierte Institutionen in COOPERS zusammengefasst. Das Konsortium vereint Infrastrukturbetreiber, Automobilindustrie, Zulieferer und Forschungseinrichtungen. Das Projekt hat eine Laufzeit von 2006 bis 2009 und ein Gesamtbudget von ca. 20 Mio. €.

COOPERS hat zum Ziel, Anwendungen zu Fahrzeug/Fahrzeug- und Fahrzeug/Infrastruktur-Kommunikation weiter zu entwickeln und in eine europäische Verkehrsmanagement-Architektur zu integrieren. Im Fokus stehen technologische Lösungen und Demonstratoren, die Fahrzeugseitig entwickelt und zu Gesamtlösungen zusammengeführt werden. Damit sollen auch Impulse für das zukünftige Zusammenspiel von Infrastruktur-Betreibern und Technologie-Partnern gegeben werden.

Die Europäische Kommission führt in dem Programm drei Großforschungsprojekte eng zusammen, in denen sich die wichtigsten Entwicklungspartner in Europa engagieren.