

**Miniaturisierung von Navigationssystemen für Anwendungen im  
Landverkehr**

Dr. P. Vörsmann

# **Miniaturisierung von Navigationssystemen für Anwendungen im Landverkehr**

Dr. Peter Vörsmann, Frank Gustke  
Aerodata Flugmeßtechnik GmbH  
Rebenring 33, 38106 Braunschweig

## **1. Einleitung**

Das Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System) erlaubt weltweit eine hochpräzise Positionsbestimmung. Eine immer größer werdende Anzahl von Nutzern bedient sich dieses Systems, um die Position von Fahrzeugen oder damit transportierten Gütern zu bestimmen und zu überwachen, oder um die Navigation für den Fahrzeugführer zu erleichtern. Die Satellitennavigation wird heute in allen Verkehrsbereichen eingesetzt: in der Luftfahrt, der Schifffahrt und im Landverkehr, wobei der straßen- bzw. schienengebundene Landverkehr die größte Nutzergruppe darstellt.

Gerade im Bereich der Landanwendungen befindet sich der Markt in einer Art Aufbruchstimmung. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Anzahl der potentiellen Nutzer von satellitengestützten Navigationssystemen gerade hier besonders hoch ist und GPS-Empfänger aufgrund der sinkenden Preise auch für den Massenmarkt zunehmend attraktiver werden.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den Sachstand der Nutzung der Satellitennavigation im Bereich der Landverkehrs mit besonderer Betonung der Notwendigkeit für die Miniaturisierung der Sensorik.

## **2. Ausgangssituation**

Das Potential für den Einsatz der Satellitennavigation im Landverkehr ist außerordentlich groß, jedoch treten gerade hier GPS-Empfangsstörungen durch Mehrwegeausbreitung oder Abschattung einzelner Satelliten besonders häufig auf.

Um mit GPS eine dreidimensionale Positionsbestimmung durchzuführen, müssen die Signale von mindestens vier Satelliten empfangen werden. Aufgrund der quasi-optischen Ausbreitungscharakteristik der GPS-Signale kann der Empfang, insbesondere in dicht bebauten Innenstadtbereichen, durch die Abschattung von Satellitensignalen beeinträchtigt werden. Dies bedeutet, daß dort in der Regel keine kontinuierliche Positionsbestimmung möglich ist. So ist es zu erklären, daß die ersten GPS-Anwendungen im Landverkehr im Flottenmanagement von Expeditionen zu finden waren. Für den Fernverkehr ist die mit normalem GPS erreichbare Genauigkeit in der Regel ausreichend und gelegentliche Ortungsausfälle können problemlos toleriert werden.

Bei Anwendungen hingegen, bei denen ein kurzzeitiger Ausfall des Navigationssignals nicht tolerierbar ist, muß die GPS-Positionsbestimmung mit anderen Verfahren kombiniert werden. Eine Möglichkeit hierfür sind "Map-Matching"-

Algorithmen. Diese erfordern als Datenbasis jedoch digitale Landkarten bzw. Stadtpläne hoher Qualität und Aktualität.

Abschattungsphasen lassen sich jedoch auch durch die Integration zusätzlicher konventioneller Navigationssensoren überbrücken, deren Ausgangsdaten in die Positionsrechnung einbezogen werden. Solche Sensoren können z.B. sein:

- Inertialsensoren bzw. Drehratensensoren
- Beschleunigungsmesser
- Magnetfeldsensoren
- Weggeber (z.B. ABS-Radsensoren)

Die Miniaturisierung der einzelnen Komponenten solcher integrierten Navigationssysteme ist notwendige Voraussetzung für eine platzsparende und kostengünstige Systemimplementation.

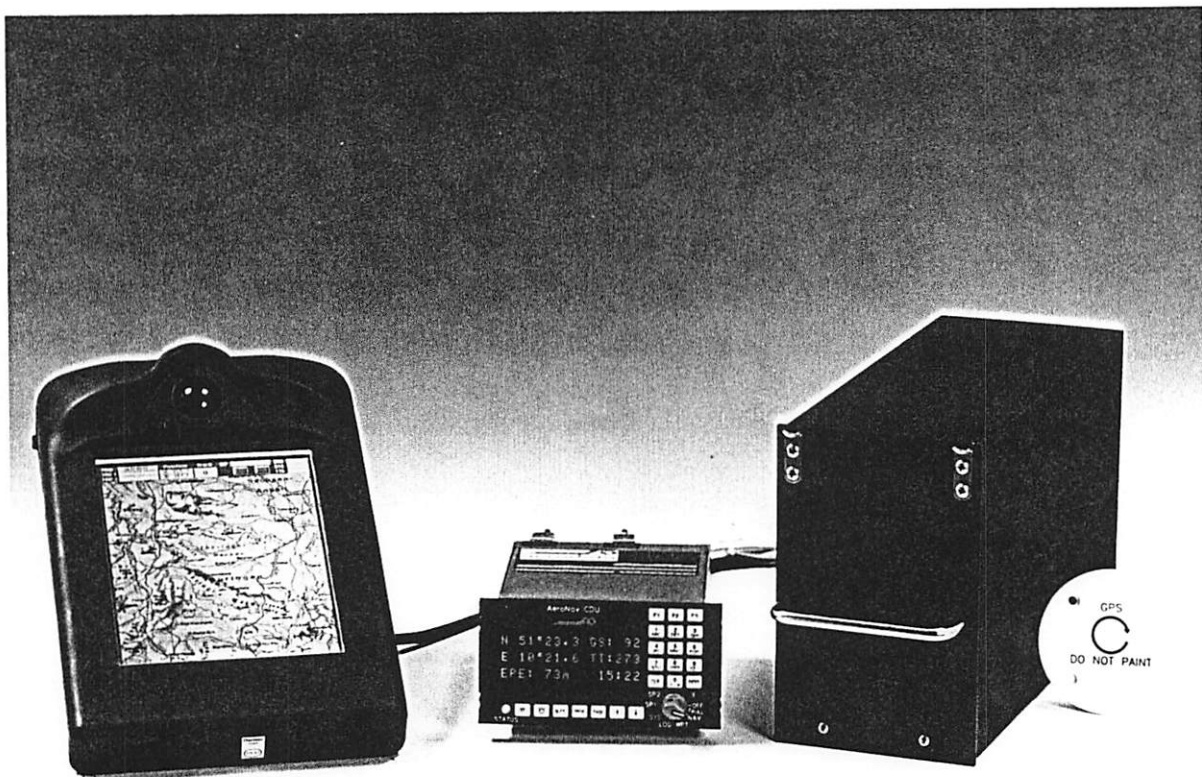


Abb.1: AeroNav®

### 3. Stand der Technik

Die Miniaturisierung der einzelnen Komponenten ist ein wichtiges Ziel, um integrierte Navigationssysteme am Markt etablieren zu können. Als Beispiel sei hier das AeroNav®-System der Aerodata Flugmeßtechnik angeführt. Dieses System (siehe Abb. 1) kombiniert die Daten von GPS, Inertialsensorik sowie weiterer optionaler Sensorik zu einer integrierten Navigationslösung, die höchste Anforderungen erfüllt.

Die mit dem System erreichbaren Genauigkeit liegen für Standardanwendungen im Bereich von ca. 5-10 m; bei Spezialanwendungen können Genauigkeiten von unter 1 m erreicht werden.

In seiner heutigen Form besteht es aus dem Basisgerät mit GPS-Empfänger, GPS-Antenne, Inertialsystem (IMU) und Rechnermodul, sowie einem Bediengerät, einem optionalen Kartendisplay und weiteren Anschlußmöglichkeiten für eine Vielzahl zusätzlicher Sensoren. Die AeroNav®-Systemstruktur ist in Abb. 2 dargestellt.

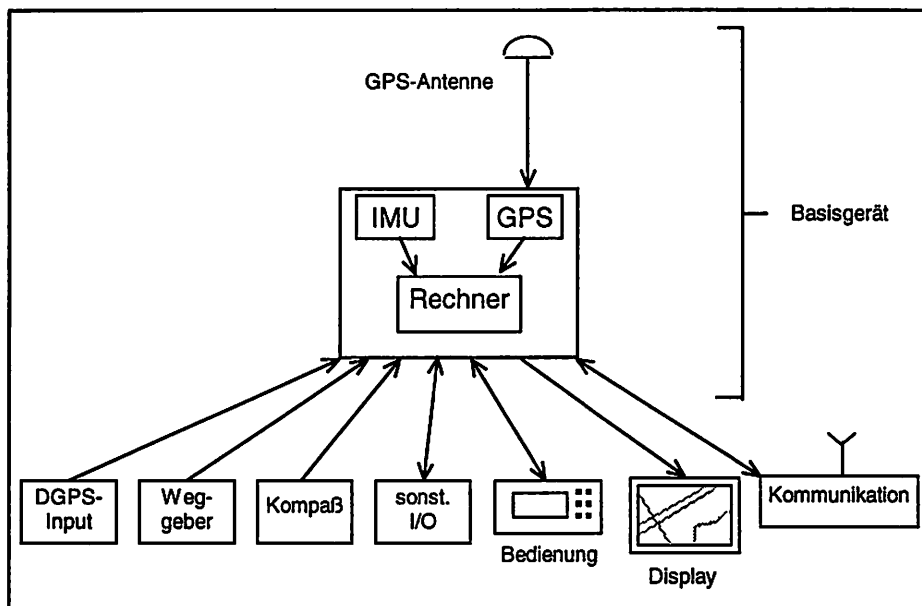


Abb. 2: Struktur AeroNav®

Für die meisten Anwendungen ist die Standardgenauigkeit des GPS von 100 m (horizontal) nicht ausreichend. Um höhere Genauigkeiten zu erreichen, muß der differentielle Modus DGPS (Differential GPS) zum Einsatz kommen. Dabei wird eine sog. Referenzstation eingerichtet, deren geographische Koordinaten genau bekannt sind, so daß aus der Differenz zwischen gemessenen Satellitendaten und bekannter Position Korrekturdaten ermittelt werden können. Diese Korrekturdaten werden an die mobilen Nutzer übertragen und können dort in die Positionsrechnung einbezogen werden. Das Prinzip beruht darauf, daß die meisten bei GPS auftretenden Fehler in einem gewissen geographischen Umkreis konstant sind, d.h. die an der Referenzstation gemessenen Fehler treten auch an den mobilen Empfängern auf und können dort eliminiert werden.

Die für das DGPS-Verfahren nötigen Korrekturdaten können entweder von speziellen für ein bestimmtes Vorhaben konzipierten Referenzstationen übertragen werden oder die Daten werden von kommerziell betriebenen Referenzstationsnetzen bezogen. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise der Langwellen-Dienst der Deutschen Telekom zu nennen, der sich gerade im Aufbau befindet. Die Korrekturdaten sollen dabei, ähnlich wie beim Zeitsender DCF-77, von einem einzigen Sender flächendeckend für ganz Deutschland ausgestrahlt werden.

Die erreichbare Genauigkeit von DGPS ist jedoch in erheblichem Maße von der Entfernung zwischen Referenzstation und mobilem GPS-Empfänger abhängig, so daß für Anwendungen, bei denen Genauigkeiten im Zentimeterbereich erforderlich



sind, lokale Referenzstationen installiert werden müssen. Beispielsweise wird von Aerodata zur Zeit ein Projekt anvisiert, bei dem für Versuchsfahrten eine fahrerlose PKW-Steuerung realisiert werden soll. Dabei liegt natürlich ein großer Schwerpunkt darauf, einen möglichst hohen Sicherheitsstandard zu gewährleisten.

Bei dieser und anderen Anwendungen ist die Miniaturisierung der Einzelkomponenten von besonderer Bedeutung. Bei den GPS-Empfängern hat diese Entwicklung im wesentlichen bereits stattgefunden. Während frühere Empfänger noch die Ausmaße von Schuhkartons hatten, sind heute Empfänger erhältlich, bei denen alle wesentlichen Bauteile auf zwei Mikrochips realisiert wurden. So wurde es möglich, daß heute GPS-Empfänger in PCMCIA-Ausführung angeboten werden, die in jedem üblichen Notebook-PC betrieben werden können.

Die Situation bei der Beschleunigungs- bzw. Drehratensensorik stellt sich jedoch noch anders dar. Hier werden in hochwertigen Navigationssystemen häufig noch großvolumige Sensoren eingesetzt (siehe Abb. 3). Miniaturisierte Sensoren sind heute in der Regel noch sehr ungenau und werden heute z.B. in PKW zur Aufprallerkennung für die Steuerung von Air-Bags eingesetzt. Gerade für Anwendungen im Landverkehr wäre es jedoch besonders wichtig, so weit wie möglich auf solche vorhandene Sensoren zurückzugreifen, wie es zum Beispiel bei ABS-Radsensoren (als Weggeber für integrierte Navigationssysteme) bereits praktiziert wird.

Das Ziel für die Zukunft muß es entweder sein, die heutigen hochgenauen Beschleunigungssensoren in Ihrer Größe erheblich zu reduzieren oder eine Strategie zu verwirklichen, bei der die heute erhältlichen miniaturisierten Sensoren zu verwenden wären.

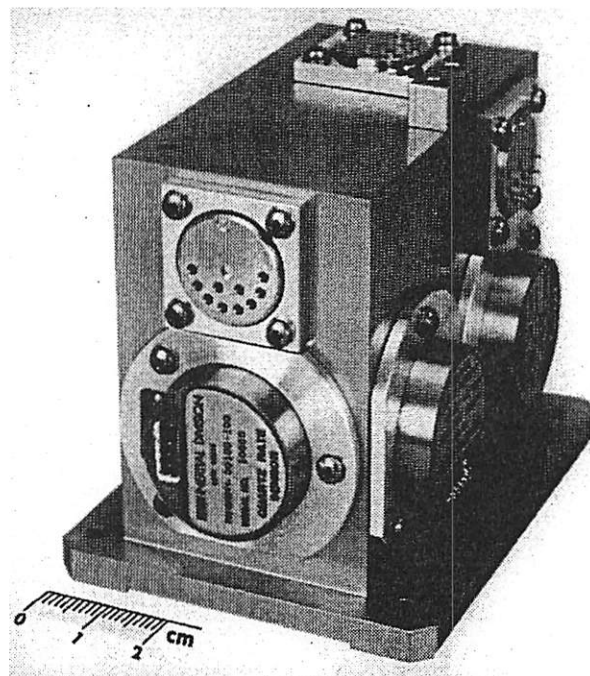


Abb. 3: AeroNav® - Inertialsensorblock

Die Verwendung miniaturisierter „low cost“-Sensoren ist dabei sowohl aus Gründen der Baugröße als auch aufgrund des vergleichsweise geringen Preises gerade für den „Massenmarkt“ Landverkehr sehr interessant. Da in integrierten Navigationssystemen mit GPS eine außerordentlich hohe Positionsgenauigkeit zur Verfügung

steht, ist es möglich, durch Vergleich der Daten der Mikrosensoren mit der GPS-Positionslösung die Fehler (Offset und Drift) der Sensoren relativ genau zu schätzen. Bei Ausfall des GPS (z.B. durch Abschattungen) kann dann eine qualitativ hochwertige Koppelnavigationslösung errechnet werden. Durch eine konsequente Weiterentwicklung dieser auf Kalman-Filtern beruhenden Algorithmen wird es möglich sein, größere Sensorikfehler als bisher zu tolerieren.

#### 4. Anwendungen

Die häufigste Anwendung von GPS im Landverkehr ist heute das Flottenmanagement, beispielsweise für Speditionen (insbesondere die Überwachung von Gefahrguttransporten), Taxiunternehmen oder für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) wie z.B. Polizei oder Feuerwehr.

Zukünftig wird auch der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) zu den Nutzern der Satellitennavigation gehören. Dabei ermöglicht eine automatische Positionsbestimmung der Fahrzeuge eine effektivere Betriebsablaufsteuerung. Im Vergleich zu den bisher im ÖPNV eingesetzten Ortungsverfahren, die auf Induktionsschleifen oder Infrarot-Ortsbaken beruhen, bietet die Satellitennavigation eine wesentlich größere Flexibilität, da hierbei keinerlei stationäre Installationen (abgesehen von einer eventuell vorzusehenden DGPS-Referenzstation) notwendig sind. Im Bereich des ÖPNV wird eine kontinuierliche Positionsbestimmung mit einer vergleichsweise hohen Genauigkeit von unter 5 m gefordert, die insbesondere für die Realisierung von Bevorrechtigungsschaltungen an Ampeln erforderlich ist.

In zunehmenden Maße wird auch der private Autoverkehr von GPS profitieren. Es sind bereits mehrere Systeme auf dem Markt erhältlich, die die ermittelten Fahrzeugkoordinaten im Rahmen eines Wegweisungssystems zur Information des Fahrers einzusetzen. Auf diese Art können zukünftig auch Meldungen über Verkehrsbehinderungen, die von Rundfunksendern über RDS (Radio-Daten-System) verbreitet werden können, direkt zur Ermittlung von Umleitungsempfehlungen für den Fahrer genutzt werden.

Im Bereich der Landwirtschaft gibt es ebenfalls einen Bedarf für hochgenaue Navigationssysteme. Dies beginnt bei der ortsabhängigen Ertragskartierung und Düngemittelausstreue und kann ggf. bis zur automatischen Fahrzeuglenkung von Landmaschinen führen.

Auch die Deutsche Bahn AG sieht für die Zukunft Chancen, GPS als Hilfsmittel für die Ortung von Zügen einzusetzen. Die Anforderungen in diesem sicherheitskritischen Bereich sind außerordentlich hoch, wobei die Genauigkeitsforderungen dabei bereits heute erfüllbar sind. Jedoch erreicht GPS derzeit noch nicht die Anforderungen an Verfügbarkeit und Integrität. Unter Integrität versteht man dabei, daß Systemausfälle, Funktionsfehler oder Störungen automatisch erkannt und dem Fahrzeugführer in geeigneter Form mitgeteilt werden müssen, unabhängig davon, ob es sich um eine Störung der Bordkomponenten oder der Boden- bzw. Raumkomponenten des GPS handelt. Abhilfe kann hier unter Umständen auch durch die Verwendung zusätzlicher Sensorik geschaffen werden. Durch Vergleich der GPS-Positionslösung mit den Sensorik-Meßwerten können Rückschlüsse auf eventuelle Fehler in der GPS-Rechnung gezogen werden.

Eine weitere Spezialanwendung mit sehr hohen Anforderungen an Genauigkeit und vor allem an die physikalische Größe des Navigationsgerätes ist der „elektronische Blindenhund“, d.h. eines Navigations- und Informationssystems, das blinden Personen ähnliche Unterstützung bietet, wie dies sonst durch Blindenhunde ermöglicht wird. Die Systemanforderungen sehen dabei vor, daß die Ortung mit einer Genauigkeit von 1 m erfolgt, dies nach Möglichkeit auch bei Signalabschattungen.

Die Anbindung des Navigationsgerätes an geeignete Telekommunikations-einrichtungen ist für das Flottenmanagement zwingende Voraussetzung, eröffnet jedoch auch bei anderen Anwendungen erweiterte Einsatzmöglichkeiten. Hier bietet sich das GSM-Mobilfunknetz an, wobei einige Gerätehersteller bereits planen, in Zukunft GSM-Telefone mit integriertem GPS-Empfänger anzubieten. Ein Beispiel für den erhöhten Nutzen bei der Verbindung von Navigation und Kommunikation ist die verbesserte Notfallhilfe bei Verkehrsunfällen, wenn die Position eines verunglückten Fahrzeugs automatisch an eine Rettungszentrale weitergeleitet werden kann.

## **5. Zusammenfassung und Ziele**

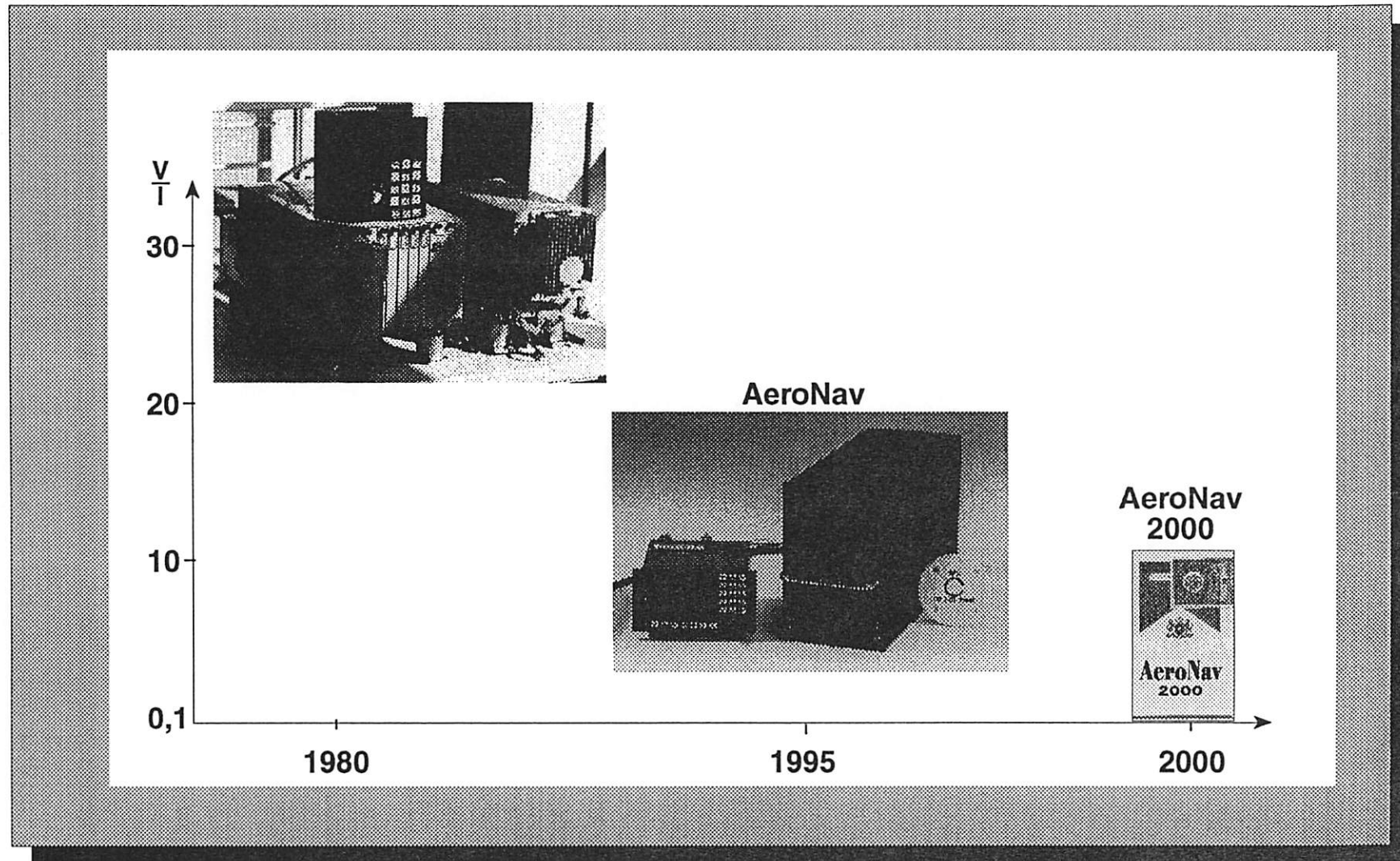
Als Ende der 60er Jahre das amerikanische Verteidigungsministerium mit den Planungen zur Konzeption von NAVSTAR GPS begann, konnte niemand absehen, welch revolutionäre Technologie sich daraus entwickeln würde.

Die Einbindung von Ortungssystemen in ein Telematik-Konzept eröffnet viele neue Anwendungsmöglichkeiten, die helfen können, die zunehmenden Verkehrsströme besser zu leiten und zu verteilen. Es scheint nur noch eine Frage der Zeit zu sein, bis GPS-basierte Navigationssysteme zur Standardausrüstung von Mittelklasse-PKW gehören werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die bisher noch vergleichsweise hohen Anschaffungskosten für Navigationssysteme erheblich reduziert werden. Hier kann die Miniaturisierung der Sensorik wertvolle Beiträge leisten.

In Zukunft werden PKW-Navigationssysteme nicht mehr nur ausschließlich der Navigation dienen sondern zusätzlich weitere Funktionen übernehmen. Integrierte Navigationssysteme ermitteln Beschleunigungen, Drehraten und Geschwindigkeiten in drei Achsen und können daraus die Lagewinkel (Eulerwinkel) des Fahrzeugs ableiten. Diese dynamische Erfassung des Fahrzeugzustands ist Voraussetzung für viele Aufgaben der Fahrzeugregelung. Wo heute beispielsweise noch separate Sensoren eingesetzt werden (z.B. für die aktive Dämpfung) könnten diese Aufgaben zukünftig vom Navigationssystem mit übernommen werden.

Die heute erhältlichen Beschleunigungsmesser auf Chip-Basis sind vielfach aufgrund ihrer eingeschränkten Genauigkeit nicht für Navigationszwecke verwendbar. Einerseits ist hier auf Seite des Navigationssystems eine Verbesserung der Algorithmen zur Fehlerschätzung anzustreben; andererseits ist die Entwicklung von hochgenauen Drehraten- und Beschleunigungssensoren auf Basis der Mikrosystem-technik voranzutreiben.

Das Ziel der Miniaturisierung muß es sein, die Größe von Navigationssystemen so weit zu reduzieren, daß sie problemlos in jedes Fahrzeug eingebaut werden können. Als Vision wäre das Navigationssystem in der Streichholzschatel zu sehen, daß als Zusatzkomponente in Autoradios oder tragbaren Telefonen (Handy) enthalten ist.





Dr. Vötsmann, Aerodata Flugzeugstudenten GWSA:

Satellitennavigation  
Sat.-Kommunikation } Uslakenutzen !

Sat-Nav.  
Sat-Com.

- Cordé missiles (IRak)
- Flottenmanagement
- Logistik-Management (GSN)

Finis: 10m

Rennen: 5 Jahre  
deutsches

Anwender: verschlechtern ihr System!

→ MZ: 5m Genauigkeit.

Differential Referenz GPS  $\Rightarrow$  20 cm Genauigkeit

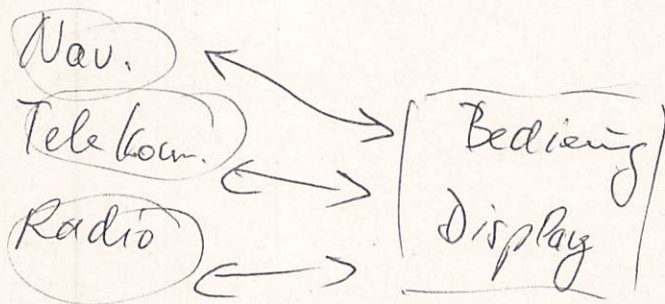
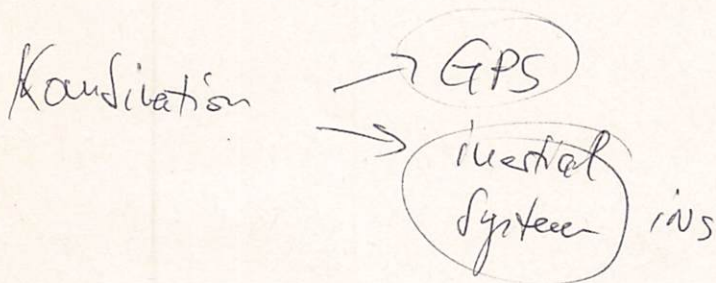
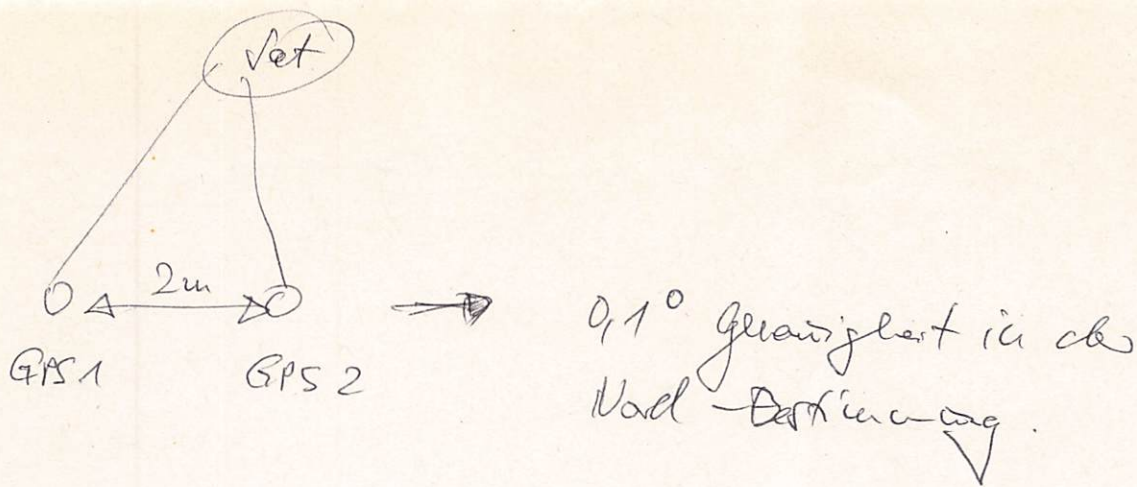
1.2 GHz-Bereich & Phasenlänge = 20 cm  
falls Identifizierung d. Phase gegeben.

1 Langwellensender: 1-2m Genauigkeit [Diff. GPS]

Positionierung mit 4 Sat.  $\Rightarrow$  [4t Bestimmen + x, y, z-Koord.]  
Navigation & Zeitsysteme: Zeitfehler  
200 nsec.







Merkmal: Flottenmanagement!  
Kranken Transporte  
Deutsche Rettungsfliegerei

INMARSAT  
mob. Telefon

Aerodata ⇒ „Nischenmärkte“

↓  
miniat. GSM-Chipsatz.  
PLESSEY: HF + Algorik  
2 CPUs

⇒ Projekt: elektron. Blindenführer!

Fragebogen / Ziel ⇒ Minimierung d. GPS-Antenne  
Ordnung, Funknetz + Nav. System.  
GPS-Empfänger: DM 200,-