

**Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Institut für Erdmessung, Universität Hannover**

**Gemeinsamer Schlußbericht zum BMBF-Vorhaben
(Förderkennzeichen MTK 590 A und MTK 590 B)**

Optimierung der hydrographischen Positions- und Lagebestimmung



Schlußbericht zum BMBF-Vorhaben
„Optimierung der hydrographischen
Positions- und Lagebestimmung“

**Bundesanstalt für Gewässerkunde
Institut für Erdmessung, Universität Hannover**

Gemeinsamer Schlußbericht zum BMBF-Vorhaben

**„Optimierung der hydrographischen Positions- und
Lagebestimmung“**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter den Förderkennzeichen MTK 590 A und MTK 590 B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

.....

Auftraggeber : Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung
und Technologie (BMBF)
Projektträger : Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Biologie,
Energie und Ökologie (BEO) - Meeresforschung -
Projektbegleiter : Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)
BfG-JAP-Nr. : 2019
Seitenzahl : 99
Projektbearbeiter : Dipl.-Ing. Jörg Dybek (BfG), Dipl.-Ing. Volker Böder (IfE)
Projektleiter : VOR Harry Wirth (BfG), Prof. Dr.-Ing. Günter Seeber (IfE)

Koblenz und Hannover, August 1998

Inhalt

Inhalt	III
Verzeichnis der Abbildungen	V
Verzeichnis der Tabellen	VIII
Verzeichnis der Abkürzungen	IX
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1 Vorhabenbeschreibung.....	1
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	2
1.3 GPS-Systemzustand.....	3
2 Verlauf des Projekts	5
2.1 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
2.2 Veröffentlichungen	8
2.3 Nutzertreffen in Cuxhaven	9
3 Vorbereitende Untersuchungen	10
3.1 Nutzerumfrage.....	10
3.2 Meßfahrt auf dem VWFS „Atair“	12
3.2.1 Meßaufbau	12
3.2.2 Auswertung und Ergebnisse.....	14
3.2.3 Folgerungen aus der Meßfahrt	17
3.3 Marktanalyse inertielle Meßsysteme (INS)	17
3.3.1 Kontaktaufnahme zu deutschen und internationalen Herstellern	18
3.3.2 Nutzung von INS zur ungestützten Lagebestimmung.....	19
3.3.3 Literatur über die Integration von GPS und INS	19
4 Aufbau des Meß- und Auswertesystems	21
4.1 Spezifikation für ein Meß- und Auswertesystem für die präzise Positions- und Lagebestimmung auf Gewässern	21
4.2 Systemaufbau	23
4.3 Beschreibung der Nutzeroberfläche.....	25
5 Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Schnelligkeit der GPS-Positionsbestimmung	35
5.1 Genauigkeit	35

5.2	Zuverlässigkeit und Schnelligkeit	36
5.3	Reduzierung entfernungsabhängiger Fehleranteile	38
5.3.1	Untersuchungen im Raum Hamburg (Simulation einer Vernetzung)	38
5.3.2	Untersuchungen im Raum Hannover.....	42
5.3.3	Vernetzung der Referenzstationen an den deutschen Küsten	47
6	Lagewinkelbestimmung	49
6.1	Lagewinkelbestimmung mit GPS.....	49
6.2	Inertiale Lagemeßsysteme	52
6.2.1	Untersuchungen mit ungestützten inertialen Lagemeßsystemen	54
6.2.2	Untersuchungen mit GPS-gestützten inertialen Lagemeßsystemen	56
6.3	Folgerungen zur Lagewinkelbestimmung.....	60
7	Weitere Verfahren zur Positionsbestimmung	61
7.1	Weitere Möglichkeiten der Positionsbestimmung.....	61
7.2	Untersuchung der Genauigkeit der Positionsbestimmung mit inertialen Sensoren.....	63
7.2.1	Versuche mit dem Litel LCR-88	64
7.2.2	Untersuchungen mit dem iMAR-TGAC-RQ	69
7.3	Folgerungen zur Positionsbestimmung mit INS	71
8	Einbindung des Systems in hydrographische Anwendungen	72
8.1	Einbindung der Sensoren in das System.....	72
8.1.1	Positionssensoren	72
8.1.2	Lagemeßsensoren	73
8.2	Einbindung des Systems in hydrographische Programme	74
8.3	Erprobung des Systems in praxisnaher Umgebung.....	75
9	Zusammenfassung und Fazit	79
10	Literatur	81
11	Anhang	87
11.1	Fragebogen der Nutzerumfrage vom 21. Februar 1996.....	87
11.2	Spezifikation für ein Meß- und Auswertesystems für die präzise Positions- und Lagebestimmung auf Gewässern im vom 01. April 1997.....	89

Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 3.1:** Messungsaufbau auf dem VWFS „Atair“; Peilfahrt Elbeästuar; 21.-23. Mai 1996
- Abbildung 3.2:** Differenzen Echtzeitlösung (GNRT-K + COMPASS) zu Postprocessinglösung (GEONAP) in [m]; Profile 1-2, 3-4: Entfernung zur Referenz Cuxhaven 3-15 km; VWFS „Atair“, 21.-23. Mai 1996
- Abbildung 3.3:** Höhendifferenzen Echtzeitlösung (GNRT-K+COMPASS) zu Postprocessinglösung (GEONAP) in [m]; Profile 1-2, 3-4: Entfernung zur Referenz Cuxhaven 3-15 km; VWFS „Atair“, 21.-23. Mai 1996
- Abbildung 3.4:** Vergleich COMPASS- mit TSS-Lagebestimmung; Werte in [°]; VWFS „Atair“, 21.-23. Mai 1996
- Abbildung 4.1:** Konfiguration des Systems
- Abbildung 4.2:** Stufenhafter Aufbau des Meß- und Auswertesystems
- Abbildung 4.3:** Auswahlfenster zur *SOL*- bzw. *HRP*-Schnittstelle im Programmmodul GNATTI, mit der eine Koordinatenlösung (links) bzw. ein Sensor-Input für Kurs-/Roll-/Stampfwinkel (rechts) ausgewählt werden kann
- Abbildung 4.4:** Programmmodule und Kommunikationsbeziehungen
- Abbildung 4.5:** Statusfenster des GPS-Empfängermodule (Beispiel für Ashtech-Empfänger)
- Abbildung 4.6:** Statusfenster des RTCM_IN Moduls
- Abbildung 4.7:** Skyplot zur Satellitenkonstellation
- Abbildung 4.8:** Signalqualität der einzelnen Satellitenkanäle
- Abbildung 4.9:** Statusfenster zur Trägerphasenlösung mit GNRT-K
- Abbildung 4.10:** Statusfenster von GNNET-RTK
- Abbildung 4.11:** Auswahl des Sensor-Typs über ein Auswahl-Fenster
- Abbildung 4.12:** Einstellungen zum Kommunikationsprotokoll RS232
- Abbildung 4.13:** Berücksichtigung der inneren Orientierung eines Sensors gegenüber dem Schiffssystem
- Abbildung 4.14:** Optionen-Fenster von HRP_IN
- Abbildung 4.15:** Statusfenster von HRP_IN
- Abbildung 4.16:** Fensterdialog zum Bearbeiten der Punktliste in GNATTI
- Abbildung 4.17:** Statusfenster von GNATTI
- Abbildung 5.1:** Differenzen zwischen Postprocessinglösung und Echtzeitlösung einer Meßfahrt mit VS „Greif“ in [m], WSA Cuxhaven, 26. März 1998
- Abbildung 5.2:** Dauer der Mehrdeutigkeitsfestsetzung, Testmessung Koblenz, 05. November 1996
- Abbildung 5.3:** Dauer der Mehrdeutigkeitsfestsetzung, Testmessung Koblenz, 30. April 1998

- Abbildung 5.4:** Übersicht über die Punkteverteilung, Referenzstationsvernetzung Hamburg, 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.5:** TTFA-Werte für jede Mehrdeutigkeitsfestsetzung (fixing), Echtzeitmessungen mit GNRT-K, Hamburg 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.6:** Standardabweichung für jede Festsetzung, Echtzeitmessung mit GNRT-K, Hamburg, 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.7:** Berechnung der Flächenkorrekturparameter (FKP), vereinfachtes Schema
- Abbildung 5.8:** Differenz zwischen Referenzlösung und der simulierten Vernetzung, einzelne Festsetzungen und Mittel, Hamburg 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.9:** Differenz zwischen der Referenzlösung und der mittleren Position mit GNRT-K, GEONAP Echtzeitsimulation ohne Vernetzung und GEONAP Echtzeitsimulation mit Vernetzung, Hamburg 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.10:** Dynamik der Vernetzungskoeffizienten, Drift in Breiten- und Längskomponenten versus GPS Zeit in Sekunden, Hamburg 12. - 16. Februar 1996
- Abbildung 5.11:** Ergebnisse der Testmessungen in Hamburg vom 12. - 16. Februar 1998
- Abbildung 5.12:** TTFA für Untersuchung zur Vernetzung im Raum Hannover, Punkt Schulenburg, Entfernung zur Referenzstation Hannover 20 km, 28. August 1997
- Abbildung 5.13:** Variationen der Koordinaten, Vernetzung im Raum Hannover, Punkt Schulenburg, Entfernung zur Referenzstation Hannover 20 km, 28. August 1997
- Abbildung 5.14:** Variationen der Koordinaten, Vernetzung im Raum Hannover, Punkt Ottbergen, Entfernung zur Referenzstation Hannover 33 km, 02. März 1997
- Abbildung 5.15:** TTFA für Untersuchung zur Vernetzung im Raum Hannover, Punkt Ottbergen, Entfernung zur Referenzstation Hannover 33 km, 02. März 1997
- Abbildung 5.16:** Bestehende und mögliche Referenzstationen an den deutschen Küsten
- Abbildung 5.17:** Mögliche Vernetzung von Referenzstationen an den deutschen Küsten
- Abbildung 6.1:** Lagewinkelbestimmung mit dem GPS-Mehrantennensystem COMPASS
- Abbildung 6.2:** Auswirkung eines Meßfehlers dx
- Abbildung 6.3:** Ergebnisse eines COMPASS-Tests auf kurzer Basis -Kurs-
- Abbildung 6.4:** Ergebnisse eines COMPASS-Tests auf kurzer Basis -Rollen und Stampfen-
- Abbildung 6.5:** Bisherige Ergebnisse der COMPASS-Winkelgenauigkeit in Abhängigkeit von der Basislänge, untere Kurve: theoretische Genauigkeit bei einem Phasenrauschen von 2 mm
- Abbildung 6.6:** Preis-/Leistungsverhältnis inertialer Navigationssysteme (Stand Juni 1998)
- Abbildung 6.7:** Meßfahrt vom 02. April 1997
- Abbildung 6.8:** Lage des Schiffskoordinatensystems, MB „Hamster“

- Abbildung 6.9:** Rollwinkel aus INS-Messung und GPS-Postprocessing, MB „Hamster“, 02. April 1997
- Abbildung 6.10:** Stampfwinkel aus INS-Messung und GPS-Postprocessing MB „Hamster“, 02. April 1997
- Abbildung 6.11:** Rollen bei „normaler Meßfahrt“, VWFS „Deneb“, 20. August 1997
- Abbildung 6.12:** Differenzen bei der Größe Rollen bei „normaler Meßfahrt“, VWFS „Deneb“, 20. August 1997
- Abbildung 6.13:** Lagewinkel Rollen (blau) und Stampfen (grün) in [°] mit Kurs (rot), VWFS „Deneb“, 20. August 1997
- Abbildung 6.14:** Abweichungen der Lagewinkel Rollen, Kurs, Stampfen (von oben nach unten) in [°], VWFS „Deneb“, 20. August 1997
- Abbildung 7.1:** Aufbau der PDGPS/INS-Integration mit dem AHRS LCR-88 und dem Programm AG_IFE von Prof. M. Bäumker, FH Bochum
- Abbildung 7.2:** Differenzen zwischen INS (AG_IFE) und PDGPS (GNRT-K) in der Höhenkomponente; Testmessungen auf Simulator; IfE; 10. Februar 1997
- Abbildung 7.3:** Differenzen zwischen INS (AG_IFE) und PDGPS (GNRT-K) in der Höhenkomponente; Überbrückungstest auf Simulator; IfE; 10. Februar 1997
- Abbildung 7.4:** Zeitsynchronisation zwischen GPS- und INS-Daten
- Abbildung 7.5:** Differenzen zwischen INS (Echtzeit) und GPS/COMPASS (Postprocessing) Position in [m]; Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998
- Abbildung 7.6:** Differenzen zwischen INS (Echtzeit) und GPS/COMPASS (Postprocessing) Position in [m]; Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998; vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 7.5
- Abbildung 7.7:** Differenzen zwischen INS- und GPS/COMPASS-Position in [m]; Postprocessing ohne Simulation von GPS-Datenlücken; Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998
- Abbildung 7.8:** Differenzen zwischen INS- und GPS/COMPASS-Position in [m]; Postprocessing mit Simulation von GPS-Datenlücken; Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998
- Abbildung 7.9:** Differenzen zwischen INS- und GPS/COMPASS-Position in [m]; Postprocessing mit Simulation von GPS-Datenlücken (10 sec); Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998; vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 7.8
- Abbildung 8.1:** Einfluß der Schiffsneigung auf die Tiefenmessung
- Abbildung 8.2:** Systemaufbau zur Meßfahrt, Cuxhaven, 08. und 09. Dezember 1997
- Abbildung 8.3:** Testfahrt mit dem VS "Greif" vor Cuxhaven, 08. Dezember 1997
- Abbildung 8.4:** Höhendifferenz (hell) und Rollwinkel (dunkel), VS „Greif“, Cuxhaven, 08. Dezember 1997
- Abbildung 8.5:** Verteilung und Häufigkeit der Höhendifferenzen, Cuxhaven, 08. Dezember 1997

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 2.1:** Zeitplan des Vorhabens
- Tabelle 3.1:** Gewünschte Genauigkeitsanforderungen an hydrographisches Meßsystem, Ergebnis der Nutzerumfrage vom 21. Februar 1996
- Tabelle 3.2:** Einmessung der Antennen im Schiffssystem in [m]; VWFS „Atair“, 21.-23. Mai 1996
- Tabelle 3.3:** Zwischenantennenstrecken der Antennen in [m]; VWFS „Atair“, 21.-23. Mai 1996
- Tabelle 3.4:** Leistungsdaten einiger inertialer Meßsysteme (Stand November 1996)
- Tabelle 3.5:** Anbieter hybrider GPS/INS Systeme (Stand November 1996)
- Tabelle 5.1** Wesentliche Fehlereinflüsse für relative GPS-Verfahren
- Tabelle 6.1:** Auswirkung Δw eines Meßfehlers Δx in [°]
- Tabelle 6.2:** Einbindbare INS
- Tabelle 6.3:** Genauigkeiten des TSS POS/MV 320
- Tabelle 7.1:** Kenndaten des AHRS LCR-88 von Litef
- Tabelle 7.2:** Auswirkung von GPS-Datenlücken; Simulation im Postprocessing; Fahrt mit dem VS „Greif“, 26. März 1998
- Tabelle 7.3:** Kenndaten des TGAC-RQ von iMAR
- Tabelle 8.1:** Einbindbare GPS-Empfänger
- Tabelle 8.2:** Formatbeschreibung \$PMBLVS
- Tabelle 8.3:** Formatbeschreibung \$PGPPLVS
- Tabelle 8.4:** Formatbeschreibung \$PMBRPH

Verzeichnis der Abkürzungen

Abz	Aufsichtsbezirk
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AHRS	Attitude and Heading Reference System, siehe auch KLRS
A-S	Anti Spoofing
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
CUPT	Coordinate Updates (Koordinatenverbesserungen)
DGPS	Differential GPS
DHHN	Deutsches Haupthöhennetz
DHyG	Deutsche Hydrographische Gesellschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung
DoD	Department of Defence of the United States of America
DREF	Deutsches Referenzsystem
EPS	Echtzeit-Positionierungsservice
FKP	Flächenkorrekturparameter
FOC	Full Operational Capability
FOG	Fiber Optical Gyro
GIS	Geographische Informationssysteme
GHPS	Geodätischer hochpräziser Positionierungsservice
GLONASS	Global Navigation Satellite System der russischen Weltraumbehörde
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Groupe Spécial Mobile, Global System for Mobile Communication
HEPS	Hochpräziser Echtzeit-Positionierungsservice
HPPS	Hochpräziser permanenter Positionierungsservice der LGN
IfE	Institut für Erdmessung der Universität Hannover
IHO	International Hydrographic Organization
INS	Inertiales Navigationssystem
IOC	Initial Operational Capability
KFKI	Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen
KLRS	Kurs- und Lagereferenzsystem
LGN	Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen
LORAN-C	Long Range Navigation
MB	Meßboot
MSL	Mean Sea Level
MSpNW	Mittleres Springtiden Niedrigwasser
MWS	Mittlerer Wasserspiegel
NAVSTAR	Navigation System with Time and Ranging
NELS	Northwest European Loran-C System
NMEA	National Marine Electronics Association
NN	Normalnull
OTF	On-The-Fly
OTW	On-The-Way

PDGPS	Precise DGPS
PN	Pegelnull
PPS	Precise Positioning Service, auch Puls Per Second
RDS	Radio Data System
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RLG	Ring Laser Gyro
RTCM-SC	Radio Technical Commission for Maritime Services - Special Committee
RT-DGPS	Real Time DGPS
RTK	Real Time Kinematic
SA	Selective Availability
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SKN	Seekartennull
SPS	Standard Positioning Service
SST	Sea Surface Topography
TTFa	Time To Fix Ambiguities
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VS	Vermessungsschiff
VWFS	Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff
WEK	Wasserstandserrechnungskarte
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSD	Wasser- und Schifffahrtsdirektion
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
WGS84	World Geodetic System 1984
ZUPT	Zero Velocity Updates (Nullgeschwindigkeitsverbesserung)

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Vorhaben „Optimierung der hydrographischen Positions- und Lagebestimmung“ wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) unter den Förderkennzeichen MTK 0590 A an der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz (BfG) und MTK 0590 B am Institut für Erdmessung der Universität Hannover (IfE) gefördert. Die gesamte Laufzeit betrug etwa 3 Jahre von Mitte 1995 bis Mitte 1998. Die Arbeiten zur Sicherstellung von anwendungsbezogenen Anforderungen aus der Praxis wurden bei der BfG als Nutzerinstitut durchgeführt. Die Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellungen wurde am IfE durchgeführt. Die Entwicklung eines marktfähigen Produktes erfolgte im Rahmen eines Auftrags bei der Firma Geo++, Gesellschaft für satellitengestützte navigatorische und geodätische Technologien mbH in Garbsen.

Das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) hat im Rahmen einer Projektgruppe die Sicherstellung der praxisnahen Forschung und die wissenschaftliche Begleitung übernommen.

1.1 Vorhabenbeschreibung

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung und Erprobung eines kostengünstigen, operationellen und echtzeitfähigen Meß- und Auswertesystem für die hochpräzise Positions- und Lagebestimmung auf Gewässern.

Abweichend von der im Vermessungswesen gebräuchlichen Bedeutung des Wortes „Lage“ als horizontale 2-D-Position wird hier unter dieser Bezeichnung entsprechend der *DIN 33417* (1987) („Die Lage eines Gegenstandes wird durch die Winkel zwischen Achsrichtungen des Objektsystems und denen des Bezugssystems angegeben. ...“) die Orientierung eines Meßschiffes im Raum, ausgedrückt durch die Parameter Rollen, Stampfen und den Kurswinkel, verstanden.

Im einzelnen bestehen die nachfolgenden Zielvorgaben.

Das System nutzt das *NAVSTAR Global Positioning System* (GPS) und ist in der Lage, auf der Grundlage handelsüblicher Hardwarekomponenten in modularer Weise alle heute üblichen und in Zukunft zu erwartenden Aufgaben der Positions- und Lagebestimmung in der Hydrographie und Gewässervermessung bei unterschiedlichen Genauigkeitsanforderungen zuverlässig zu erfüllen. Es wurde insbesondere für den Einsatz im Küstenbereich, aber auch für den von der Tide beeinflussten Bereich der Binnengewässer entwickelt. Das System kann somit unter anderem

- zur Verbesserung hydrographischer Aufnahmeverfahren,
- zur Gewässerkunde, insbesondere zur Erfassung von Wasserständen und Morphologie,
- zur Sicherheit des Schiffverkehrs,
- zum Küstenschutz und
- zur Überwachung von Wasserstraßen

genutzt werden.

Als Hauptsensoren werden GPS Empfänger unterschiedlicher Leistungsklassen verwendet. Zur Stützung können weitere Sensoren zugeschaltet werden, beispielsweise Inertialsensoren, Neigungsmesser oder Höhengeber. Das Kernmodul ist ein umfassendes Softwarepaket zur echtzeitfähigen Auswertung von relativen GPS Code- und Trägerphasenmessungen mit „On-The-Way (OTW)“-Mehrdeutigkeitslösungen für die präzise dreidimensionale Positionsbestimmung und hochgenaue Zeitzuordnung. Die dreidimensionalen Positionsdaten sowie die Lageinformationen (Kurs, Rollen, Stampfen) werden in Echtzeit über definierte Schnittstellen für die gewünschte Nutzung bereitgestellt. Alternativ können die Daten nachprozessiert werden. Die Datenübertragung bei der Echtzeitlösung nutzt vorhandene Kommunikationskanäle unterschiedlicher Datenrate und Reichweite.

Die Software ist auf handelsüblichen Rechnern lauffähig. Um zeitliche Zuordnungsprobleme zu vermeiden, wird empfohlen einen einheitlichen Rechner für die Messung und Datenerfassung der hydrographischen Daten zu verwenden. Es bestehen Standardschnittstellen zu handelsüblichen GPS-Empfängern, Sensoren und Aufnahmesoftware. Das System arbeitet robust und zuverlässig.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zu Vorhabenbeginn wurden einige GPS-Produkte angeboten, die nach Herstellerangaben hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der GPS-Positions- und Lagebestimmung aufwiesen. Diese Produkte hatten im allgemeinen die folgenden Nachteile:

- die Produkte waren in der Regel auf einen bestimmten Empfängertyp festgelegt
- die verwendeten mathematischen und stochastischen Modelle waren nicht transparent
- die Produkte waren wenig flexibel und liessen somit Sonderanwendungen nicht zu
- die Einbeziehung von Stützinformationen durch andere Sensoren waren nicht möglich
- die Erfolgsquote und Zuverlässigkeit bei der schnellen Mehrdeutigkeitslösung nach einem Signalabrisß war zu gering und häufig unbekannt
- die Frage des Datenalters war unbefriedigend gelöst
- die dreidimensionale Zentrierung war in der Regel nicht befriedigend gelöst.

Im Rahmen des Vorhabens sollte ein System entwickelt werden, das die genannten Nachteile nicht mehr aufweist. Als geeignete Grundlage für die Entwicklung wurde das von der Firma Geo++ angebotene Programmpaket GNRT gewählt. Es handelt sich dabei um ein Softwarepaket zur echtzeitfähigen Auswertung der relativen GPS-Messungen mit den OTW- Mehrdeutigkeitssuchverfahren, das bereits einige Anforderungen an das zu entwickelnde System abdeckt. Das System ist mit Schnittstellen zu den wichtigsten in der Geodäsie und präzisen Navigation üblichen GPS-Empfängertypen ausgestattet. Die Algorithmen entsprechen in weiten Teilen denen des Programmpakets GEONAP für Anwendungen im Postprocessing und sind somit dem Anwender durch vielfache Veröffentlichungen weitgehend transparent. Das Programmsystem GEONAP ist ein sehr flexibles und universelles geodätisches Auswerteprogramm, das in der Grundversion am Institut für Erdmessung der Universität Hannover entwickelt wurde. GEONAP erlaubt die Verarbeitung von statischen, kinematischen sowie pseudokinematischen Daten der unterschiedlichsten Empfängertypen. Das Programm verwendet hierzu die undifferenzierten GPS-Beobachtungen (*Wübbena* 1991).

Das Programm COMPASS zur dreidimensionalen Lagebestimmung mit GPS wird unter anderem seit vielen Jahren auf dem Forschungsschiff „Polarstern“, des Alfred Wegener Institutes, Bremerhaven, betrieben. Es wurde am IfE entwickelt und wird nunmehr von der Firma Geo++ weiterentwickelt.

Inertiale Meßsysteme zur Lagebestimmung waren bei Vorhabenbeginn unter anderem in der Luftfahrt (Aerophotogrammetrie) in der Seevermessung (Hydrographie, Hubsensoren) und im Maschinenbau (Maschineneinrichtung, -steuerung) im Einsatz. Gerade auf dem Gebiet der Hydrographie gab es kommerzielle Anbieter aus Großbritannien, Kanada und Norwegen. Inertiale Meßsysteme zur Positionsbestimmung waren vorwiegend bei wissenschaftlichen Instituten und beim Militär vorhanden. Diese Systeme waren aber technisch sehr aufwendig und teuer. Inwieweit die preiswerten, kommerziellen Systeme einen Beitrag zu den Zielen des Vorhabens leisten können, sollte im Verlauf des Vorhabens untersucht werden.

1.3 GPS-Systemzustand

Das GPS-Raumsegment gilt seit dem erfolgreichen Start und der Inbetriebnahme des 24. Block II Satelliten im März 1994 als vollständig ausgebaut (Full Operational Capability, FOC). Somit sind jederzeit weltweit mindestens vier Satelliten, meistens jedoch 6 bis 9 Satelliten gleichzeitig für die Positionierung verfügbar. Die offizielle Erklärung der Operationalität des GPS -Systems hatte die permanente Aktivierung der Systemsicherungsmaßnahmen Selective Availability (SA) und Anti-Spoofing (AS) zur Folge.

Mit Selective Availability wird die künstliche Verschlechterung der Satellitenuhr und der in den Navigationsdaten gesendeten Bahnparameter bezeichnet. SA ist mit Unterbrechungen seit 1990 eingeschaltet und erlaubt zivilen Nutzern eine Positionsgenauigkeit von 100 m in der horizontalen Position bzw. 150 m in der Höhe. Unter Anti-Spoofing wird die Verschlüsselung des präzisen P-Codes auf beiden Trägerphasen L1 und L2 zum sogenannten Y-Code verstanden. AS wird seit 1992 getestet und ist seit dem 31. Januar 1994 permanent eingeschaltet. Damit stehen dem zivilen Nutzer grundsätzlich nur noch der Standard Positioning Service (SPS) mit dem unverschlüsselten C/A-Code auf L1 und die absolute Positionierungsgenauigkeit unter SA zur Verfügung. Weiterentwicklungen in den Empfängertechnologien machen es aber möglich, auf L2 sowohl die Codemessungen unter Verschlechterung des Rauschverhaltens als auch die Phasenmessungen verfügbar zu machen. Dies ist für relative Verfahren von Belang. Vom Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten von Amerika (Department of Defence, DoD) autorisierte Nutzer des Precise Positioning Service (PPS) können durch zusätzliche Empfängerkomponenten die ursprünglichen Satellitensignale wiederherstellen. Ihnen steht eine Absolutgenauigkeit von 20 m in der Lage und 30 m in der Höhe zur Verfügung. Für zivile Anwender besteht diese Möglichkeit nicht.

Höhere Genauigkeiten auch für den zivilen Nutzer liefern DGPS Verfahren, die zunehmend auch in Echtzeit verfügbar sind (Real Time DGPS, RTDGPS). Sie werden nicht wesentlich durch SA gestört und erreichen Genauigkeiten unter 10 m bis zu wenigen Dezimetern. Als ein Beispiel sei das die Nord- und die Ostsee abdeckende Differential Beacon System mit Stationen auf Helgoland und Wustrow genannt, das Korrekturen im Seefunkfrequenzband bei Reichweiten bis 200 km aussendet (*Speckter 1991*). DGPS Dienste für Norddeutschland sind in *Bichtemann, Hankemeier (1994)* beschrieben.

Die Einrichtung von Präzisen DGPS-Diensten mit Übertragung von Trägerphaseninformationen ist aufgrund der verfügbaren Frequenzen mit ausreichender Datenkapazität und der dadurch eingeschränkten Reichweite schwieriger umzusetzen. Verfahrenslösungen werden unter anderem innerhalb des Hochpräzisen Permanenten Positionierungsservice (HPPS) der Niedersächsischen Landesvermessung (*LGN 1998*) in Niedersachsen untersucht. Das HPPS als flächendeckendes Netz von Permanentstationen mit einem durchschnittlichen Abstand von 30 - 50 km besitzt beste Voraussetzungen, um Mehrdeutigkeitslösungen in einem flächendeckenden DGPS Dienst zu ermöglichen. Die Arbeitsgruppe GPS-Referenzstationen der Arbeitsgemeinschaft deutscher Vermessungsverwaltungen (AdV) ist seit dem Herbst 1994 eingesetzt, um länderübergreifende Belange zu koordinieren und allgemeine Standards festzusetzen. Ziel ist es, einen DGPS-Dienst der Vermessungsverwaltungen einzurichten. Der gegenwärtige Zustand des SAPOS (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessungen) ist in *Hankemeier et al. (1997)* dokumentiert. Möglichkeiten der Nutzung des während der Dauer des Vorhabens erfolgten Ausbaus von Referenzstationen wurden im Rahmen des Vorhabens intensiv verfolgt.