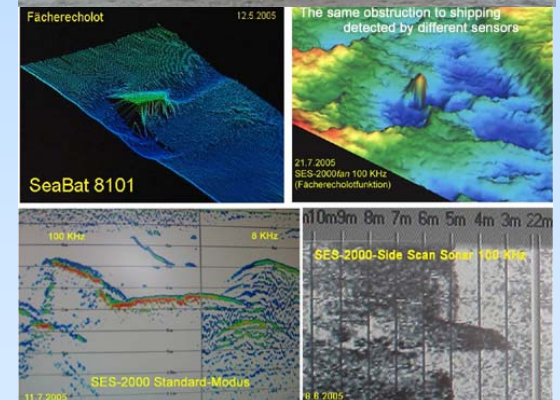


# Die Bedeutung der GNSS-Stützung von Multi-sensor-Systemen

am Beispiel des hydrographischen Messschiffes LEVEL-A

Peter Andree

1. HCU Department Geomatik
2. Hintergrund des Themas
3. Messtechnik auf LEVEL-A
4. Vergleichsmessungen
5. Kalibrierung von Sensoren
6. Fazit und Empfehlungen



# 1. HCU Department Geomatik

- **Gründung** der HafenCity Universität Hamburg im Januar 2006
- **Transfer** gut eingerichteter Departments von verschiedenen Hamburger Hochschulen an die HCU:

|                    |  |
|--------------------|--|
| Architektur:       | Universität für bildende Künste,<br>Hochschule für Angewandte Wissenschaften |
| Bauingenieurwesen: | Hochschule für Angewandte Wissenschaften                                     |
| <b>Geomatik:</b>   | Hochschule für Angewandte Wissenschaften                                     |
| Stadtplanung:      | Technische Universität   |

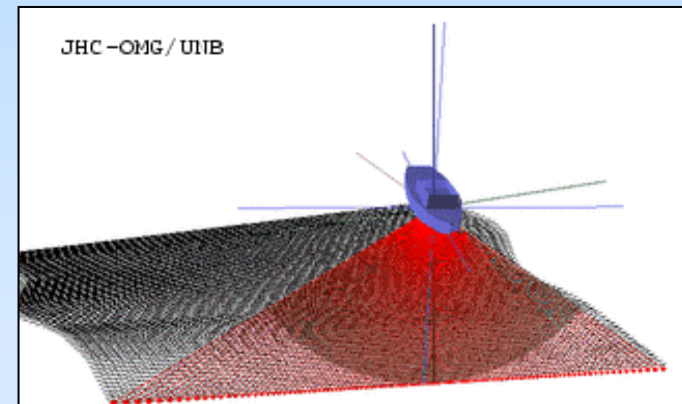
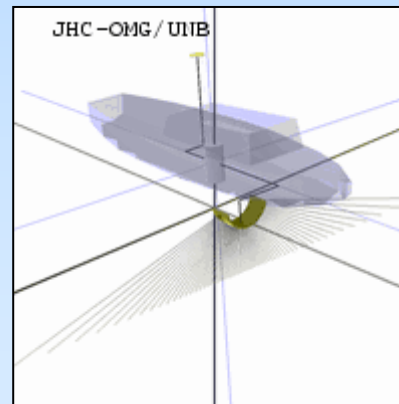
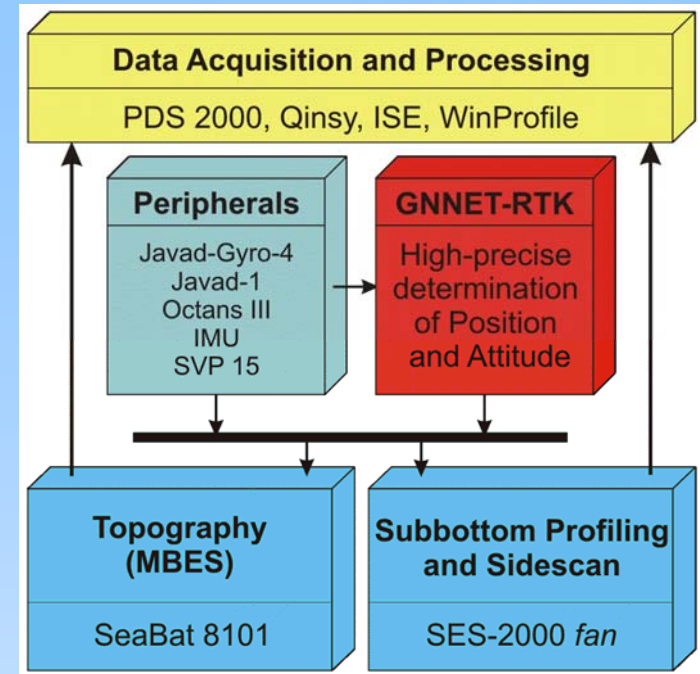
## Studiengänge im Department Geomatik:

- Diplomstudiengang Geomatik (8 Semester, auslaufend)
- Bachelor of Science Geomatik (6 Semester)
- Master of Science Geomatik (4 Semester)
- **Master of Science Hydrography** (4 Semester, englischsprachig)



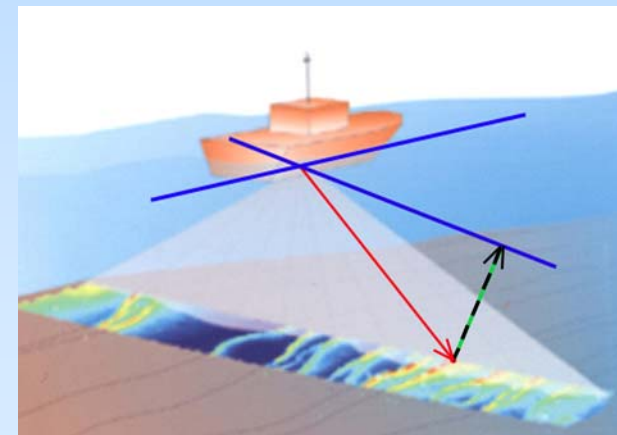
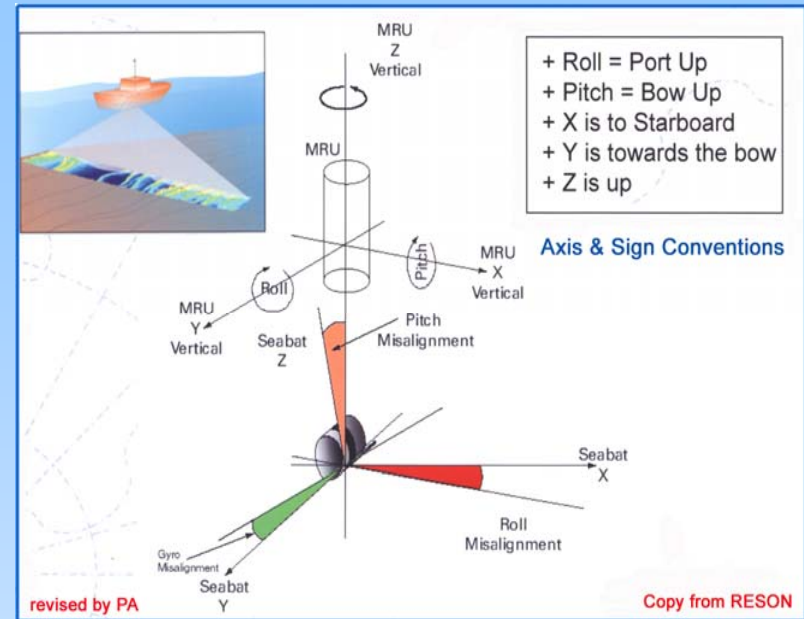
## 2. Hintergrund des Themas

- Resultatsverantwortung und Qualitätssicherung erfordern höhere Qualifikationen der Ingenieure
- Adäquate technologische Grundausstattung ist im Bildungsbereich erforderlich
- Beachtung der multifunktionalen Verwendung von Systemkomponenten für z. B.
  - Erfassung von Schiffsbewegungen
  - Deformationsmessungen an Küstenbauwerken, Pontons etc.
- **Integration** von Sensoren (**Javad-Gyro-4**, Javad-1, **Octans III**) zur Überbrückung von GNSS-Datenlücken mittels modularem Softwarepaket wie GNNET-RTK



## ● Probleme beim Einsatz von Fächersonar-Systemen

- alle Beobachtungen von mobiler (dynamischer) Trägerplattform (z. B. Schiff)
- Position und Orientierung von Sendee- und Empfangsecho sind nicht identisch
- Schallgeschwindigkeit in der Wassersäule variabel → Schallstrahlen breiten sich prinzipiell nicht geradlinig aus
- trotz hoher Genauigkeit aller benutzen Sensoren (Position, Kurs, Hub/heave, Rollen/roll, Stampfen/pitch, Schallgeschwindigkeit) → Hauptproblem ist die Integration dieser Sensoren mit dem Fächersonarsystem in Bezug zur Zeit und der relativen Positionen
- **Ziel:** Lösung oder Minimierung der o. g. Probleme zwecks Ableitung eines zuverlässigen digitalen Geländemodells



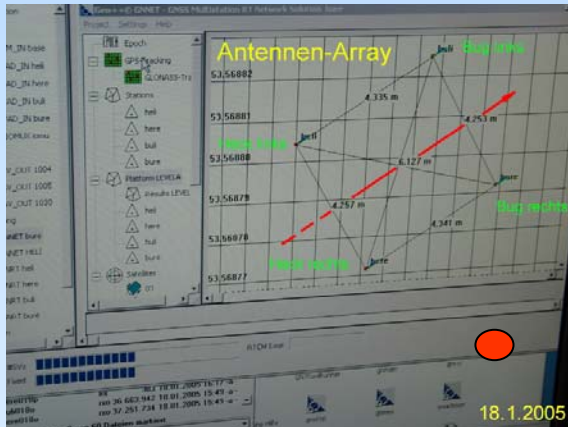
### 3. Messtechnik auf Level-A

#### Folgend nur Positions- und Lagebestimmungssystem

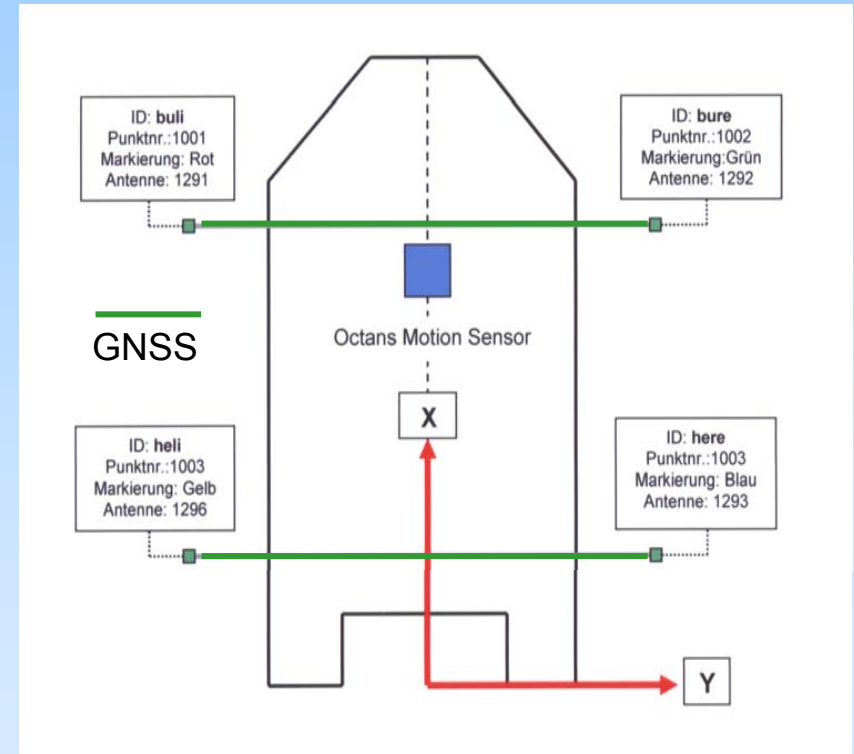
Primärsystem → GNSS - basiert

Sekundärsystem (OCTANS III) → Stützfunktion

**Hypothese:** Primär- u. Sekundärsystem mindestens gleich genau



LEVEL-A mit Antennen-Array auf Teleskop-Schienen



GNSS-Stützung von Multisensor-Systemen am Beispiel der LEVEL-A

Prof. Dipl.-Ing. Peter Andree

- **Integriertes Multisensor-System für Position und Lage mit Bestimmung von HHRP (Heading, Heave, Roll, Pitch)**

### Hardware-Komponenten:

- GNSS (GPS/GLONASS, L1 u. L2)  
Javad-Gyro-4 (4 Receiver Boards) und Javad-1 (PPS-Puls + ZDA-String)
- Motion-Sensor OCTANS III
- IMU Inertial Measurement Unit (low-cost-Lösung in Arbeit)

### Software-Zielfunktionen (Produkt GNATTI):

Annahme: OCTANS bleibt innerhalb der von Firma IXSEA angegebenen Spezifikationen

- Soft-Key 1: Verknüpfung aller Sensoren mittels Kalman-Filter
- Soft-Key 2: nur Octans-basierte HHRP-Daten, später kombiniert mit IMU
- Soft-Key 3: nur GNSS-basierte HHRP-Daten
- Datenausgabe: min. 30 Hz

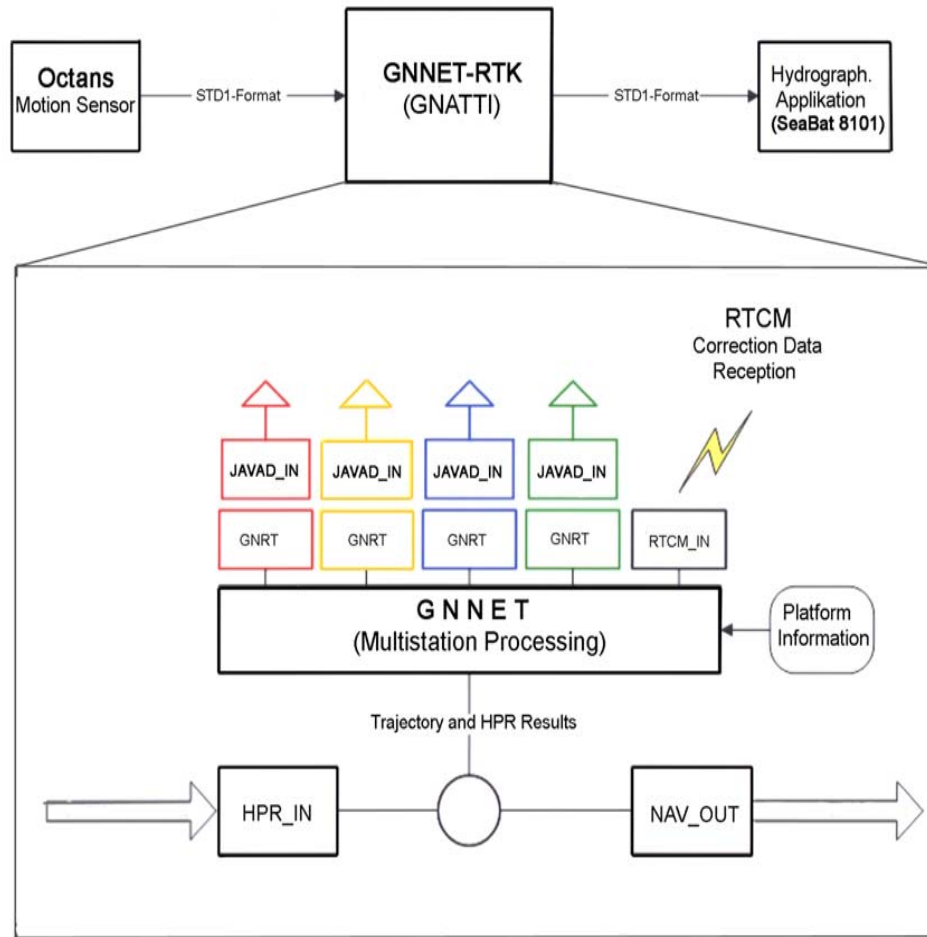


## Weitere Software-Zielfunktionen:

- Koppelortung (dead reckoning): bis zu 15 Sek. bei GNSS-Lösungsverlust, Heading vom OCTANS
- Online-Projektion von Position und HHRP-Daten auf die Schallquelle (transducers) in Echtzeit ( $\leq 0.02$  Sek.)
- **Definition eines SBS Schiffsbezugssystems (Ship's Reference Frame) und 3D-Vermessung aller Sensorpositionen im Trockendock**  
Annahme: Sensor-Achsen weder parallel noch orthogonal zum SBS  
Festlegung: 0-Punkt im Heckbereich in Höhe Wasserlinie
- **Beobachtung des OCTANS gegenüber GNNET-RTK in Bezug auf:**
  - Langzeitverhalten ( $\geq 6$  Monate)
  - Verhalten unter stark-dynamischen Bewegungen (Schwell-Einfluss, Kurvenfahrten mit relativ hohen Drehraten etc.)



## • Datenfluss des GNSS-Lagesystems



## Potential von GNNET-RTK:

- Multistationslösung in Echtzeit
- beliebige Kombinationen von Referenz- und Mobilstationen
- Verarbeitung verschiedener GNSS-Receiver sowie Anbindung eigener oder anderer Referenzstationen
- Berücksichtigung der durch Antennenkalibrierung bestimmten PCV's Phasenzentrumsvariationen
- Aktueller Zustand der Plattform wird grafisch und numerisch angezeigt
- Anzeige der HHRP-Daten vom GNNET-RTK u. Motion-Sensor OCTANS in Dialog-Fenstern

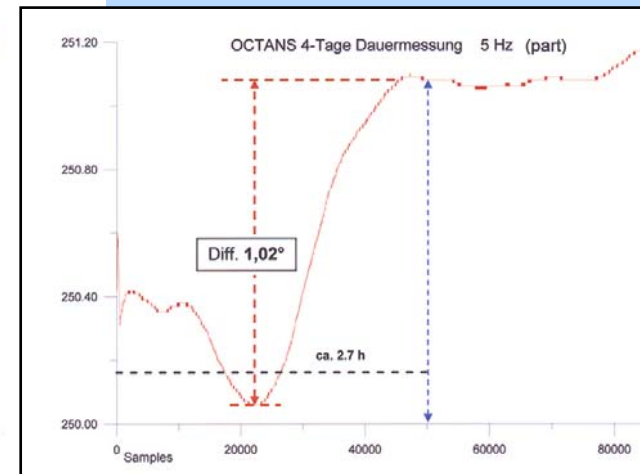
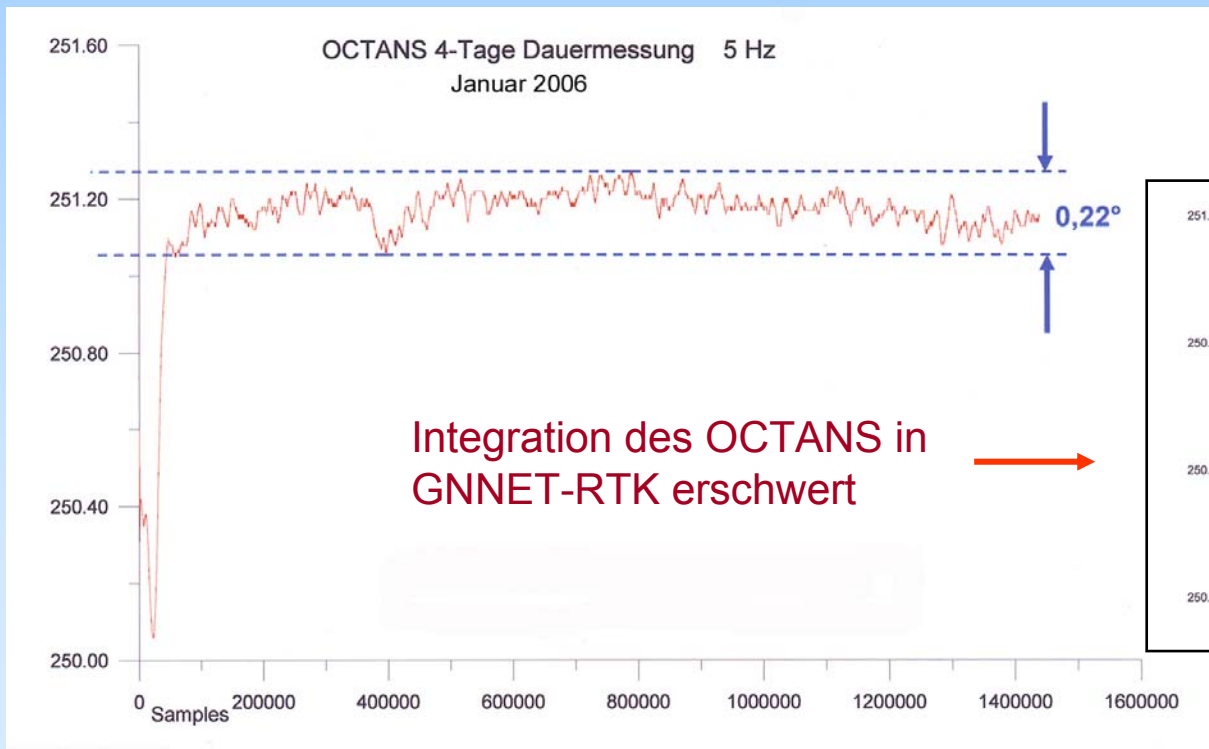


## 4. Vergleichsmessungen GNNET ▶ ◀ OCTANS

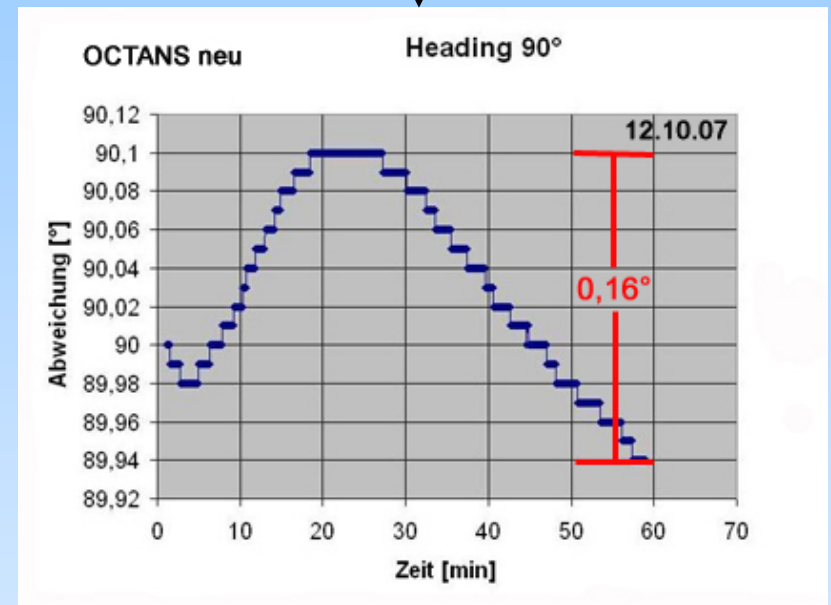
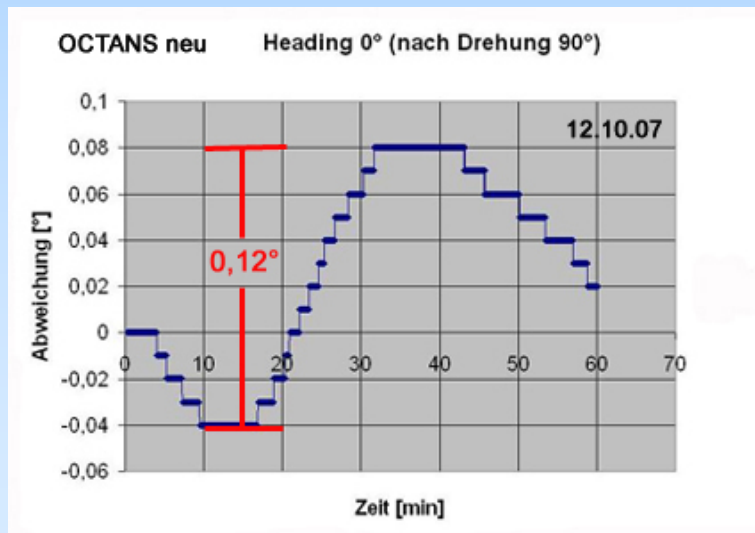
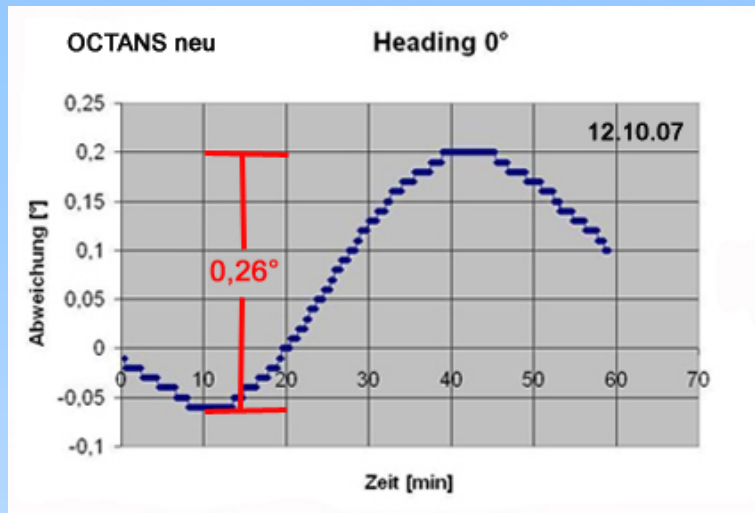
- **Ausgangssituation:**

- Langjährige Erfahrungen betr. Genauigkeitspotential GNSS
- keine Erfahrungen betr. Genauigkeitspotential und Zeitverhalten beim OCTANS

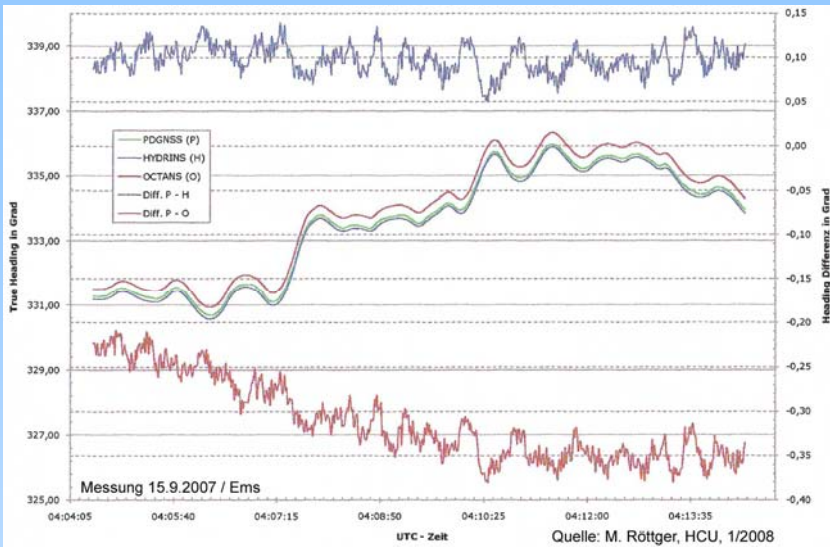
- **Statische Untersuchungen des Octans Nr. 514**



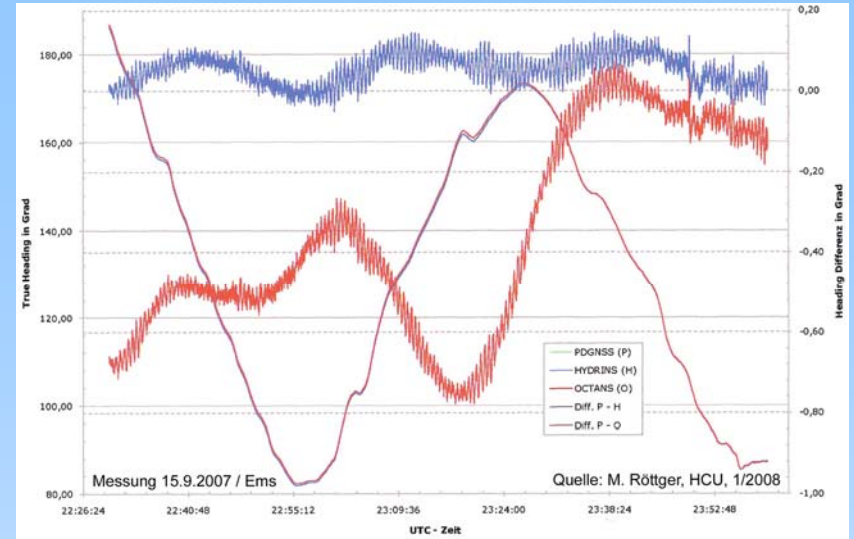
# Weitere Beispiele statischer OCTANS-Untersuchungen



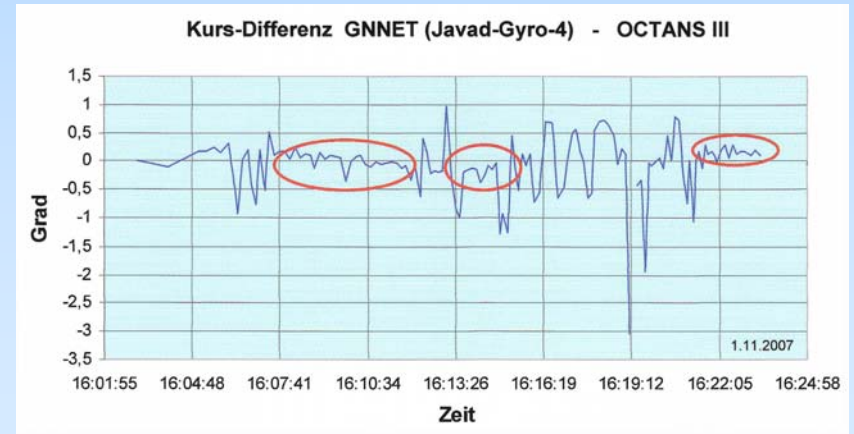
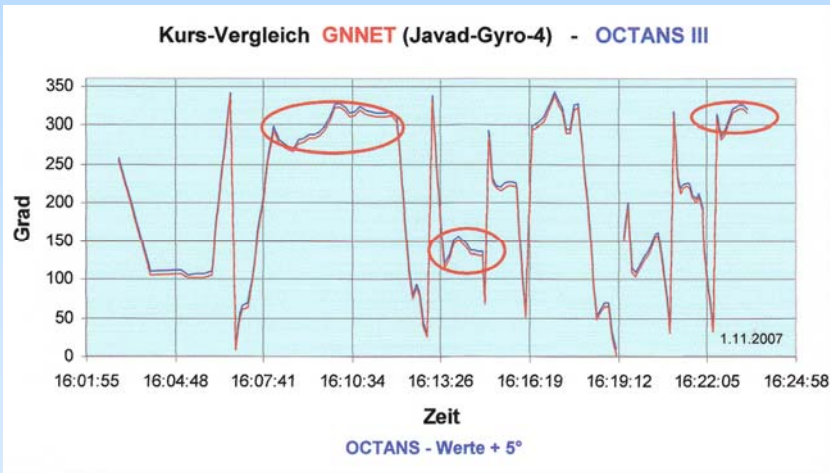
# Kinematische Untersuchungen OCTANS 12-2005 / OCTANS 10-2007



Kursdarstellungen (PDGNSS / HYDRINS / OCTANS) bei Geradeausfahrt und Differenzen P-H / P-O



Kursdarstellungen (PDGNSS / HYDRINS / OCTANS) bei Kurvenfahrt und Differenzen P-H / P-O



GNSS-Stützung von Multisensor-Systemen am Beispiel der LEVEL-A

Prof. Dipl.-Ing. Peter Andree

## ● Ergebnis der Vergleichsmessungen:

- **Hypothese** OCTANS-Heading gleich genau wie GNNET-RTK (Javad-Gyro-4) konnte für die OCTANS-Geräte Nr. 514 und 689 (neu) **prinzipiell nicht bestätigt** werden
- nur bei geradlinigen Kursen (rate of turn  $\leq 0,01^\circ/s$ ) und geringen Geschwindigkeitsänderungen bleiben die untersuchten OCTANS-Sensoren innerhalb der Hersteller-Spezifikation (z. B. für  $53^\circ$  nördl. Breite):

HYDRINS  $\pm 0,02^\circ$  Secant Latitude ( $1/\cos \varphi$ )  $\sim \pm 0,035^\circ$  / Driftfehler  $\sim 0,01^\circ/h$

OCTANS  $\pm 0,10^\circ$  Secant Latitude ( $1/\cos \varphi$ )  $\sim \pm 0,17^\circ$  / Driftfehler  $\sim 0,05^\circ/h$

Darstellung in QPS-Qinsy 15.9.2007 / Ems

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Latitude GPS_BUG 53:06.8708630 N |          |
| Longitude GPS_BUG 7:22.3764119 E |          |
| <b>Beispiel</b>                  |          |
| Roll OCTANS_PRH                  | 0.31     |
| OCTANS_HDG                       | 196.09   |
| Pitch OCTANS_PRH                 | -0.5     |
| Heave OCTANS_PRH                 | 0.0      |
|                                  |          |
| HYDRINS HDG                      | 195.88   |
| Roll HYDRINS_PRH                 | 0.32     |
| Pitch HYDRINS_PRH                | -0.6     |
| Heave HYDRINS_PRH                | 0.0      |
|                                  |          |
| SOG CoG GPS_BUG                  | 2.24     |
| Time CoG GPS_BUG                 | 17:44:21 |
| CMG GPS Heck                     | 195.88   |
| SOG GPS Heck                     | 2.24     |
| Time GPS Heck                    | 17:44:21 |
| CMG CoG GPS_BUG                  | 195.88   |

Standardabweichungen GNNET-RTK-Plattform

|            |                    |                |                   |                  |
|------------|--------------------|----------------|-------------------|------------------|
| Plattform: | LEVELA             | Quality:       | 4                 |                  |
| Heading:   | Value [σ]: 313.925 | +/- [σ]: 0.009 | Rate [σ/s]: 0.288 | +/- [σ/s]: 0.237 |
| Pitch:     | 0.865              | 0.023          | -1.031            | 1.149            |
| Roll:      | -0.181             | 0.023          | 1.786             | 0.304            |

| GNSS Bug-Heck | Mittelwert           | Latitude 53,099925°           | Longitude 7,358174°           | berechneter Kurs 224,99° | berechnete Basislänge 248,34 m |
|---------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| GNSS-Bug      | Standardabweichungen | $\pm 4,1 \cdot 10^{-7}^\circ$ | $\pm 4,9 \cdot 10^{-7}^\circ$ | $\pm 0,0078^\circ$       | $\pm 0,04m$                    |
| GNSS-Heck     |                      | $\pm 4,0 \cdot 10^{-7}^\circ$ | $\pm 5,4 \cdot 10^{-7}^\circ$ |                          |                                |

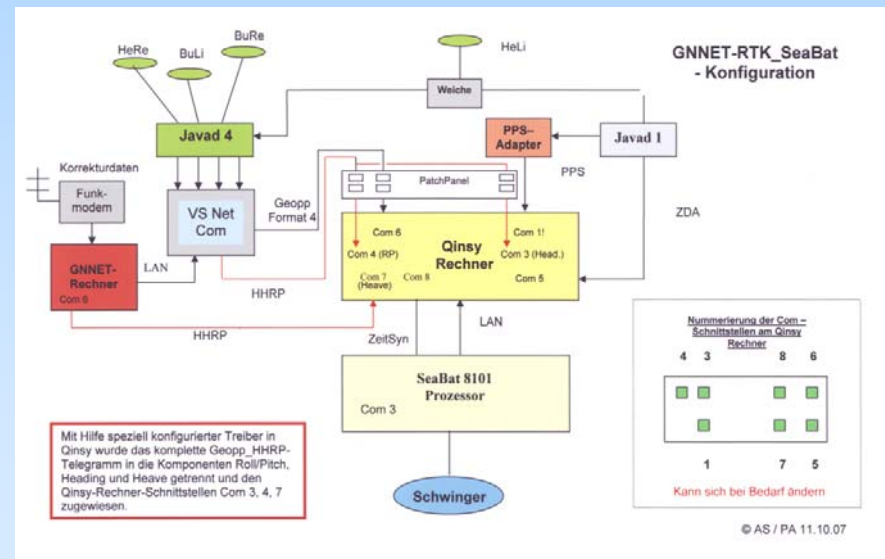
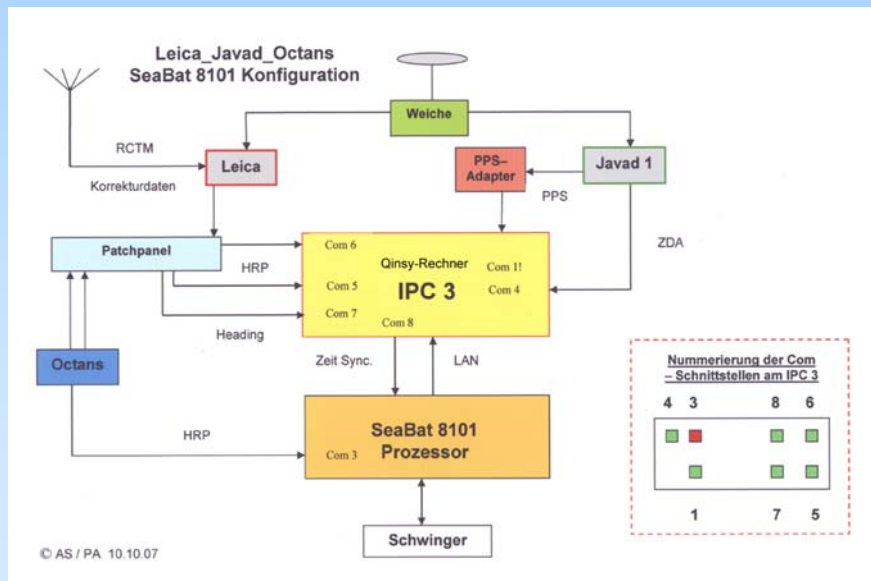
Quelle: M. Röttger, HCU, 12-2007

Statistische Auswertung von GNSS-Daten der "Norwegian Gem" in Ruhelage 9-2007



## ● Fazit aus den Vergleichsmessungen

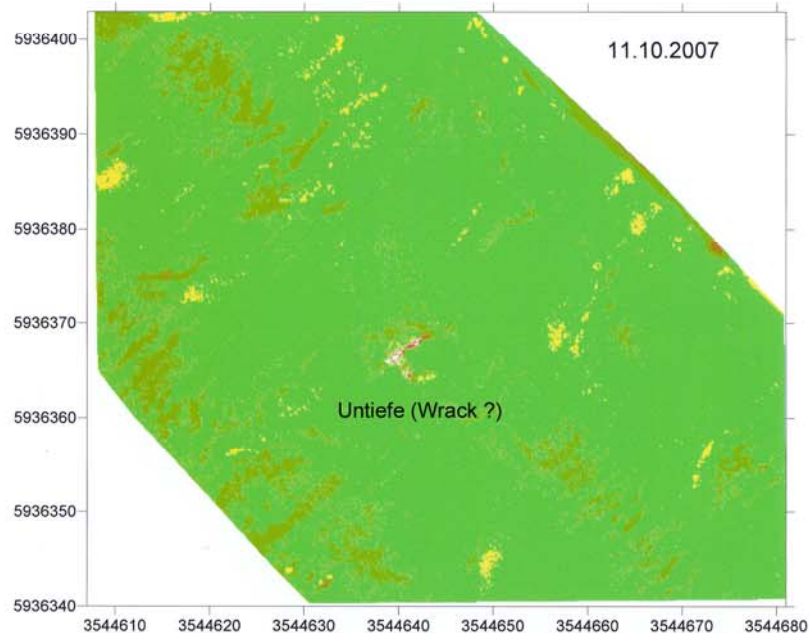
- Integration des OCTANS in GNNET-RTK wegen abfallender Genauigkeit bei Beschleunigungsphasen nicht zu empfehlen
- Langzeitverhalten des OCTANS ist unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen → evtl. Entwicklung ergänzender Algorithmen
- Benutzung unterschiedlicher Systemkonfigurationen für die Kompensation von Schiffsbewegungen bei Fächersonarmessungen



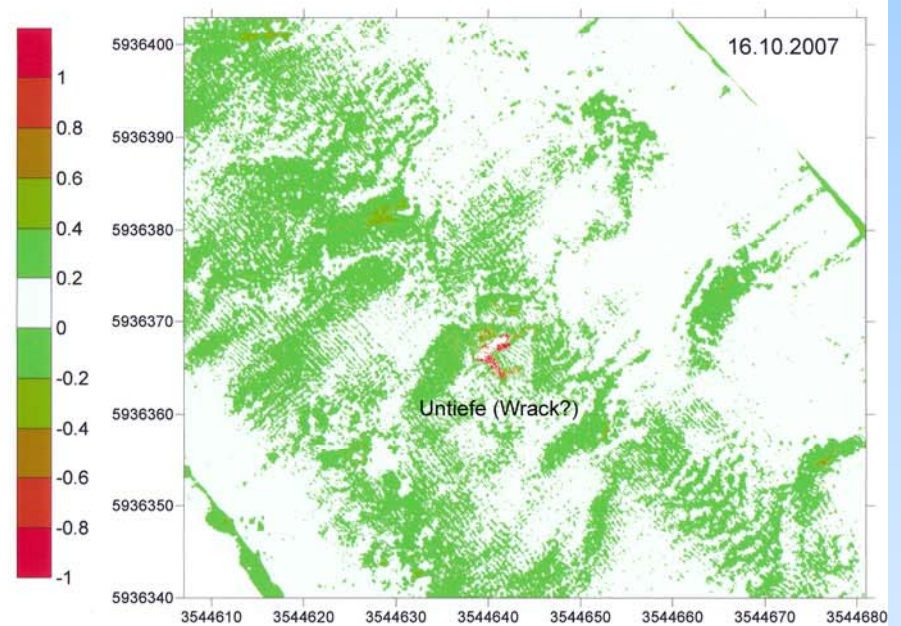
- Ergebnisse von DTM-Differenzmodellen bei Vergleich GNNET-RTK gegen OCTANS Nr. 514 (alt) und OCTANS (neu)

## Differenz-Modelle GNNET\_Octans 514 und GNNET\_Octans neu

Diff.-Model GNNET\_Octans 514



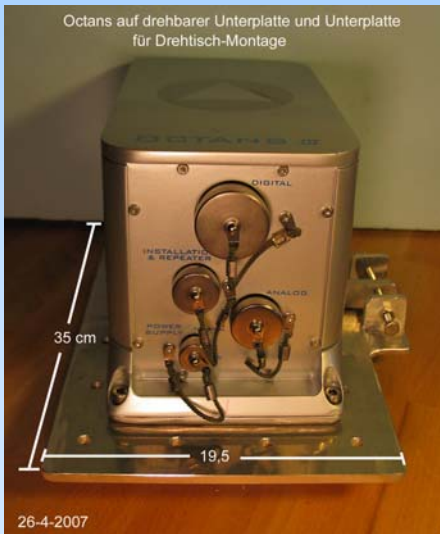
Diff.- Model GNNET\_Octans neu



## 5. Kalibrierung von Sensoren

Unterscheidung der Sensoren nach Bauelementen und Dimensionen für die Positions- und Lagebestimmung

- **BK-Systeme:** Beschleunigungsmesser (3) und Kreisel (3) ohne /mit GNSS-Stützung → kompakt (z. B. 28 x 16 x 15 cm)
- **GNSS-basiert** (4-9 Receiver) → Antennenarrays von 1 x 1 m aufwärts

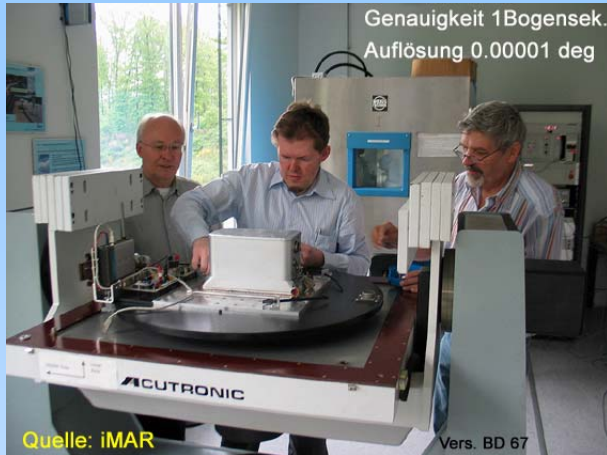


BK-Systeme

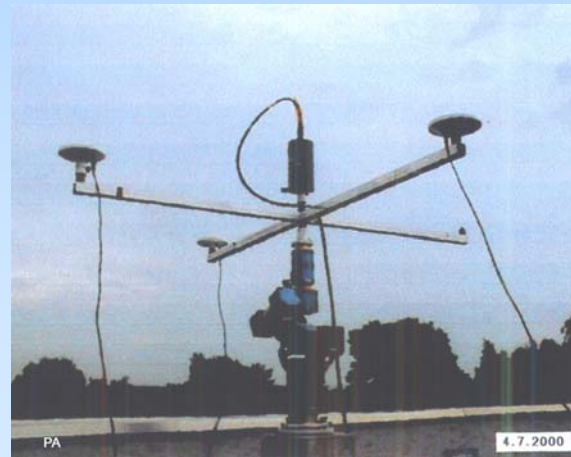


- Technische Kalibrierungseinrichtungen

3-Achsen-Drehtisch für BK-Systeme



Roboter (Geo++) für GNSS- und BK-Systeme



GNSS-Stützung von Multisensor-Systemen am Beispiel der LEVEL-A

Prof. Dipl.-Ing. Peter Andree

- **Ergebnis Kalibrierung OCTANS Nr. 514 mit ACUTRONIC in 5-07**

- externer magnetischer Einfluss auf das Ergebnis der Nordsuche nicht erkennbar
- Einfluss externer Magnetfelder auf die gemessene Beschleunigung (Roll/Pitch) zwar sichtbar, aber innerhalb der Toleranz
- Power off, Power on (nach 15 Sek.) führt zu einer Drift von **0,7°** nach **30** Min.
- nach unterschiedlichen Drehungen um X,Y,Z(Yaw) -Achsen u. Rückführung in die Ausgangsstellung Heading-Abweichungen bis zu **0,85°** → **Querfehler 3,7 m / 250 m**
- Kosten für Kalibrierung ca. 2000,- 3000,- € → Kalibr.- Frequenz ?

- **OCTANS-Diagnose (iMAR/NIAH)**

- keine stabile Nordsuche innerhalb der ersten 2 Betriebsstunden → **OCTANS außerhalb der Spezifikation**
- erhebliches Temperaturgradientenproblem (zu große Eigenerwärmung)
- Nullpunktsfehler des Kreiselsystems → Offset **0,09°/h**, **Soll 0,02°/h** → **OCTANS außerhalb der Spezifikation** (Gyro-Drift zu groß)
- vermutlich arbeiten alle 3 Kreisel nicht innerhalb der Spezifikation
- Beschleunigungsmesser arbeiten offenbar einwandfrei
- OCTANS-Fehler wirken sich tiefenabhängig auf DTM aus



- **Kalibrierung mittels Roboter**
  - **Eigenschaften**  
Rotationen und/oder Kippungen  
Konfiguration bestimmter Bewegungsabläufe möglich  
Bewegungsparameter einstellbar:  
→ Geschwindigkeit bis  $120^\circ/\text{s}$   
→ Beschleunigung bis  $300^\circ/\text{s}^2$   
→ Abhängigkeit von Gewicht und wirkenden Kräften
  - **Kalibrierung des Roboters**  
→ z. B. durch Lasertracker  
→ präzise Richtungsmessungen
  - **Einschränkungen**  
→ 2 Rotationen um z-Achse ( $720^\circ$ )  
→ Kippungen bis  $40^\circ$  bis 5 Kg
  - **Genauigkeitspotential (Geo++)**  
→ Heading  $\pm 0,05^\circ$  ( $2\sigma$ )  
→ Roll, Pitch  $\pm 0,05^\circ$  ( $2\sigma$ )  
→ Genauigkeit wie GNATTI ?
- **Anwendung auf die HCU-Systeme OCTANS III und GNATTI / Javad-Gyro-4**
  - Mehrfachkalibrierung des OCTANS in regelmäßigen Zeitintervallen (z.B. alle 3 Monate) → wenn möglich Entwicklung von Korrekturalgorithmen
  - Kalibrierung des GNATTI / Javad-Gyro-4
- **Systemvergleiche nach Roboterkalibrierung auf Level-A**
  - monatliche Vergleichsmessungen der beiden Motion-Sensor-Systeme über 1 Jahr
  - wenn möglich zusätzlich Vergleiche von OCTANS und GNSS-gestützten INS (z.B. HYDRINS oder iNAV-RQH)



## 6. Fazit und Empfehlungen

- BK-basierte Motion-Sensoren können sich außerhalb der Firmenspezifikationen verhalten
- die Kalibrierung der Fächersonarsysteme (z. B. Patch-Test) wird dadurch erschwert
- Digitale Geländemodelle werden mit zunehmender Tiefe unzuverlässiger
- Massenbilanzierungen aus derartigen DTM's sind mehr oder weniger fehlerhaft → Wirtschaftlichkeit infrage gestellt
- BK-basierte Motion-Sensoren ohne GNSS-Stützung sind periodisch auf Genauigkeit und Driftverhalten zu untersuchen
- GNSS-gestützte INS können in größeren Zeitintervallen ( $\geq 1$  Jahr) kalibriert werden → Verwendung bei Fächersonarsystemen empfohlen → jedoch sehr hohe Beschaffungskosten ( ca. 80-100-Tsd €)
- GNSS-basierte Motion-Sensoren werden inzwischen hochauflösend mit einem 8 - L1 - Antennenarray und entsprechenden Empfängern hergestellt → Low-Cost-Lösung → redundante Ergänzung von BK-basierten Motion-Sensoren

Beispiele hierfür sind die Systeme GNATTI von Geo++ (z. B. HELIPOD) und iMAR (iSMARTpos 3D mit GNATTI-Software)



# Literatur- und Quellenverzeichnis

- Andree, P. et al. (2000): "Determination of ship's motion and other high-frequency movements by means of GPS". Proceedings of the DGON-Symposium
- Wübbena, G. et. al., Andree, P. (2001): "Permanent Object Monitoring with GPS with 1 mm-Accuracy". Presented at the International Technical Meeting, *ION GPS-01*, Salt Lake City, Utah, E
- Andree, P., Wübbena, G. et. al. (2002): "High frequency GPS-measurements on "Uelzen" lock" on behalf of the "Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe", Final Scientific Report, Hamburg / Hannover
- Andree, P. (2005): Die Bedeutung der Positions- und Lagebestimmung beim Einsatz multifunktionaler MBES-Systeme. Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr. h. c. Dipl.-Ing. J. Zastrau, HAW Hamburg
- Andree, P. et. al. (2006): "New Approaches Supporting Hydrographical Education", Hydro INTERNATIONAL, June 2006, p. 33
- Andree, P., von Hinüber, E. (2007): Protokoll der OCTANS III-Überprüfung auf dem ACUTRONIC-Dreiaachsen-Drehtisch bei der Firma iMAR, Protokoll kann unter [andree@tu-harburg.de](mailto:andree@tu-harburg.de) angefordert werden
- ISEA (2004): OCTANS III - Surface Unit - User's Guide. MU-OCTIII – 003 EdB, IXSEA S.A.S: Marly-le-Roi, France
- Schmitz, M. (2008): Gesprächsinformationen zu Roboteranwendungen von Geo++<sup>®</sup> sowie Informationen unter [www.geopp.de](http://www.geopp.de) → Produkte → Hardware-Entwicklungen ("Übersicht", "Details", "Hardware")

