Möglichkeiten und Grenzen der Ortung mit DGNSS bei Sonarmessungen auf Wasserstraßen

Dr.-Ing. Gerhard Wübbena, Geo++® GmbH
Gerald Boettcher, Geo++® GmbH
Dr.rer.nat. Gunnar Tietze, GeoTopic

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die kinematischen Einsatzbedingungen auf Binnenwasserstraßen werfen besondere Probleme auf, insbesondere Abschattungen durch Böschungen, Uferbewuchs und Brücken. Es wird gezeigt, wie durch Einsatz von GPS und GLONASS die Echtzeitpositionierung optimiert wird und sich durch Post-Processing die Genauigkeit weiter steigern lässt. Neuerdings sind auch cm-genaue Daten zur Höhe zu gewinnen. Schließlich werden zukünftige technische Entwicklungen angesprochen.

~~~
~~~

Inhalt

- ✓ **Anforderungen an die Ortung**
- ✓ **Begriffe (GNSS,DGNSS,PDGNSS)**
- ✓ **GNSS Grundprinzipien**
- ✓ **Besonderheiten bei Sonarmessungen auf Wasserstraßen**
- ✓ **Navigationsanzeige**
- ✓ **Nutzung von GPS+GLONASS**
- ✓ **Verbesserung durch „Postprocessing“**
- ✓ **PDGNSS Anwendung**
- ✓ **Schiffsdynamik: „Attitude“ und „Squat“**

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Anforderung an die Ortung

- ✓ Zeitliche Genauigkeit der Positionsbestimmung
  - Kurs über Grund (COG)
  - Rechtweisender Kurs (Heading)
- ✓ Unterschied Binnengewässer - „hohe See“
  - Abschattungen (Taleinschnitte, Uferbewuchs, Gebäude)
  - Unterbrechungen (Brücken)
  - Verkehr (Überholer, Entgegenkommer)
- ✓ Training des Schiffsführers
  - Inhomogenität der Strömung
  - Hohe Variation in Geschwindigkeit und Kurs

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Sonarmessungen stellen besonders hohe Anforderungen an die Ortung. Ursache ist nicht die Tatsache, dass der Auftraggeber unbedingt cm-genau wissen will, wo sich welche Untergrundstrukturen befinden, sondern die Synthetisierung der Sonarbilder aus einzelnen Bildpunkten (Pixeln).

Die Sonarbilder werden im Scanner-Verfahren mittels Ultraschall gewonnen. Dabei tasten ein oder mehrere Schallstrahlen die Gewässersohle ab. Je besser in räumlicher und zeitlicher Auflösung dieser Schallstrahl positioniert ist, desto genauer ist die Lage jedes einzelnen Bildpunktes (Mosaikstein), um schließlich ein scharfes Gesamtbild zu ergeben. Sie können sich vorstellen, eine ungenaue Ortung jeden Bildpunkt in seiner Position auf dem Gesamtbild „tanzen“ lässt. Das Ergebnis wäre ein Art Defokusierung, wie bei der Bildfotografie, und ergäbe ein entsprechend unscharfes oder wörtlich verwackeltes Bild. Bedenken Sie, dass – um im Bilde zu bleiben – mit im Vergleich zum Licht sehr langsamen Schallgeschwindigkeiten arbeitet, was sozusagen lange „Belichtungszeiten“ bedingt. Man braucht also eine gute relative Ortung, um überhaupt erst scharfe Bilder zu erzeugen. Dass nebenbei auch die absolute Lage des Bildes insgesamt stimmt, ist ein willkommenes Nebenergebnis.

Inhalt

- ✓ **Anforderungen an die Ortung**
- ✓ **Begriffe (GNSS,DGNSS,PDGNSS)**
- ✓ **GNSS Grundprinzipien**
- ✓ **Besonderheiten bei Sonarmessungen auf Wasserstraßen**
- ✓ **Navigationsanzeige**
- ✓ **Nutzung von GPS+GLONASS**
- ✓ **Verbesserung durch „Postprocessing“**
- ✓ **PDGNSS Anwendung**
- ✓ **Schiffsdynamik: „Attitude“ und „Squat“**

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Fortsetzung von der Vorseite:

Im Vergleich zur offenen See, ist die Sonarvermessung oft schon deshalb anspruchsvoller, da man in erheblich größerem Maßstab arbeitet, also einer „Vergrößerung“ wo diese Frage der Bildschärfe erheblich wird. Hinzu treten Probleme, die die Ortung selber betreffen, die es auf der hohen See so auch nicht gibt: Dazu gehören Abschattungen, Signal-Unterbrechungen und auch dicht vorbei fahrender Verkehr und schließlich eine hohe Variation von Schiffskurs und –geschwindigkeit in Folge einer sehr inhomogenen Strömungsumgebung. Es empfiehlt sich daher, das Zusammenspiel von Ortung, Sonarmessung und Schiffsführung bei jedem Einsatz zu üben.

Begriffe

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

GNSS Definition

GNSS

Global **N**avigation **S**atellite **S**ystem

(GPS, GLONASS, (Galileo))

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

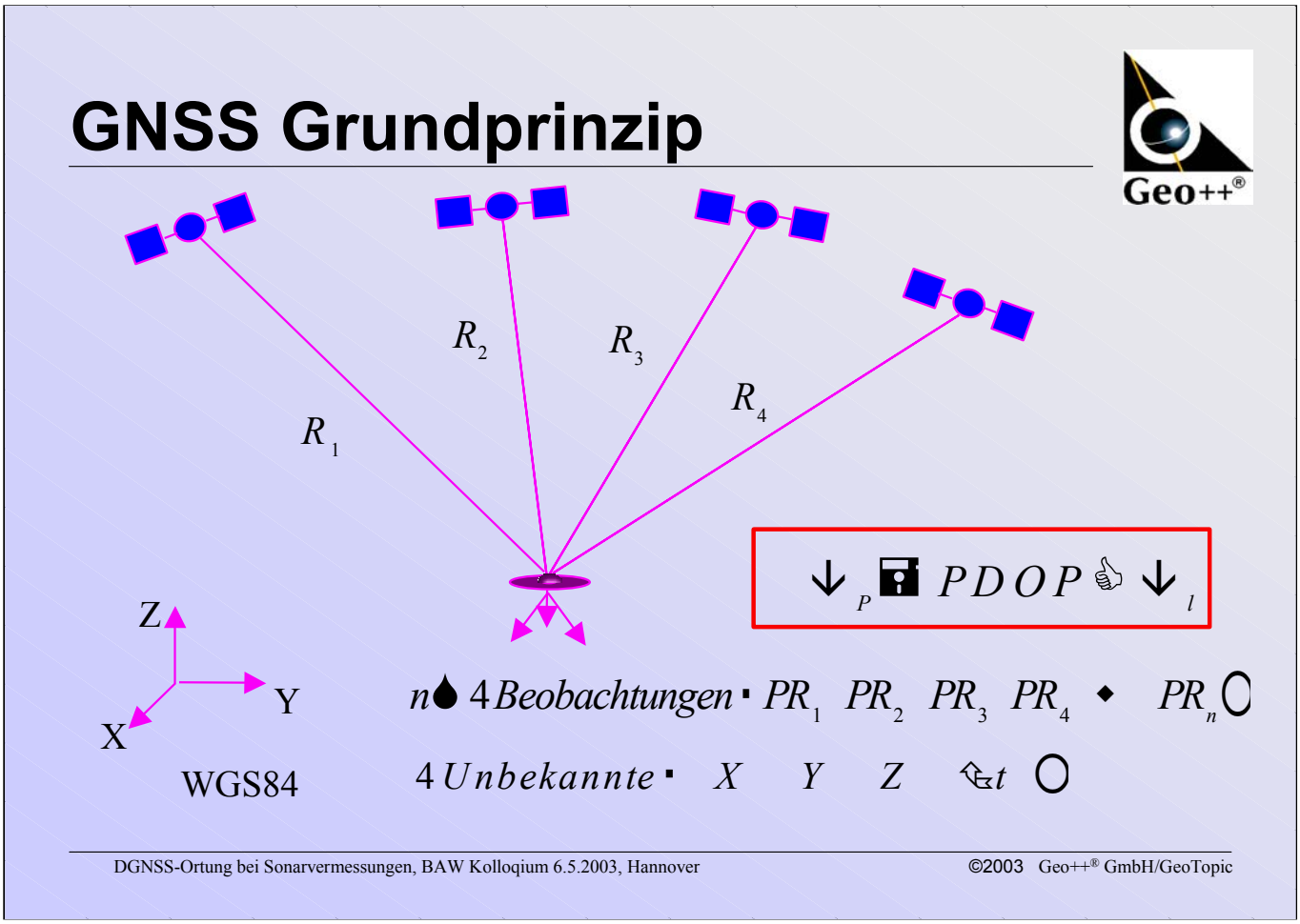
DGNSS / PDGNSS

Differential GNSS / Precise Differential GNSS (RTK)

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Grundprinzip
GNSS
DGNSS
PDGNSS

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic



Wie bei der klassischen Vermessung bedarf es dreier Satelliten, um per Bogenschlag die drei Koordinaten des Raumes zu bestimmen. Der 4. Satellit ist für die Zeitkoordinate erforderlich. Da es sich um eine dynamisch sich ständige verändernde Konfiguration handelt, ist die Zeit die 4. Unbekannte.

PDOP

✓ PDOP – Position Dilution of Precision

Abhängig von

- Satellitenanzahl
- Satellitenkonstellation
  - Geometrie der Satellitenkonstellation
  - Schnittbedingungen

Typische Werte:

- Gute Bedingungen PDOP=1..2
- Mittlere Bedingungen PDOP=2..3
- Schlechte Bedingungen PDOP > 4

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Der PDOP-Wert beschreibt die jeweils aktuelle Geometrie der Satelliten untereinander. Wie in der klassischen Vermessung per Bogenschlag nimmt die Messgenauigkeit ab, wenn sich die Kreisbögen unter spitzem Winkel schneiden. Der PDOP geht linear in die erzielte Messgenauigkeit ein, d.h., dass bei einem PDOP von 4 der Messfehler 4 mal größer als bei einem PDOP von 1 ist.

PDOP und 3D Positionsgenauigkeit

✓ Codemessungen

DGNSS

✓ Genauigkeit Messgrössen

ca. 0.3 m - 3 m (phasengeglättete Codes)

✓ PDOP	Positionsgen.
1	0.3 m – 3 m
3	0.9 m – 9 m
6	1.8 m – 18 m

✓ Trägerphasenmessung

- PDGNSS

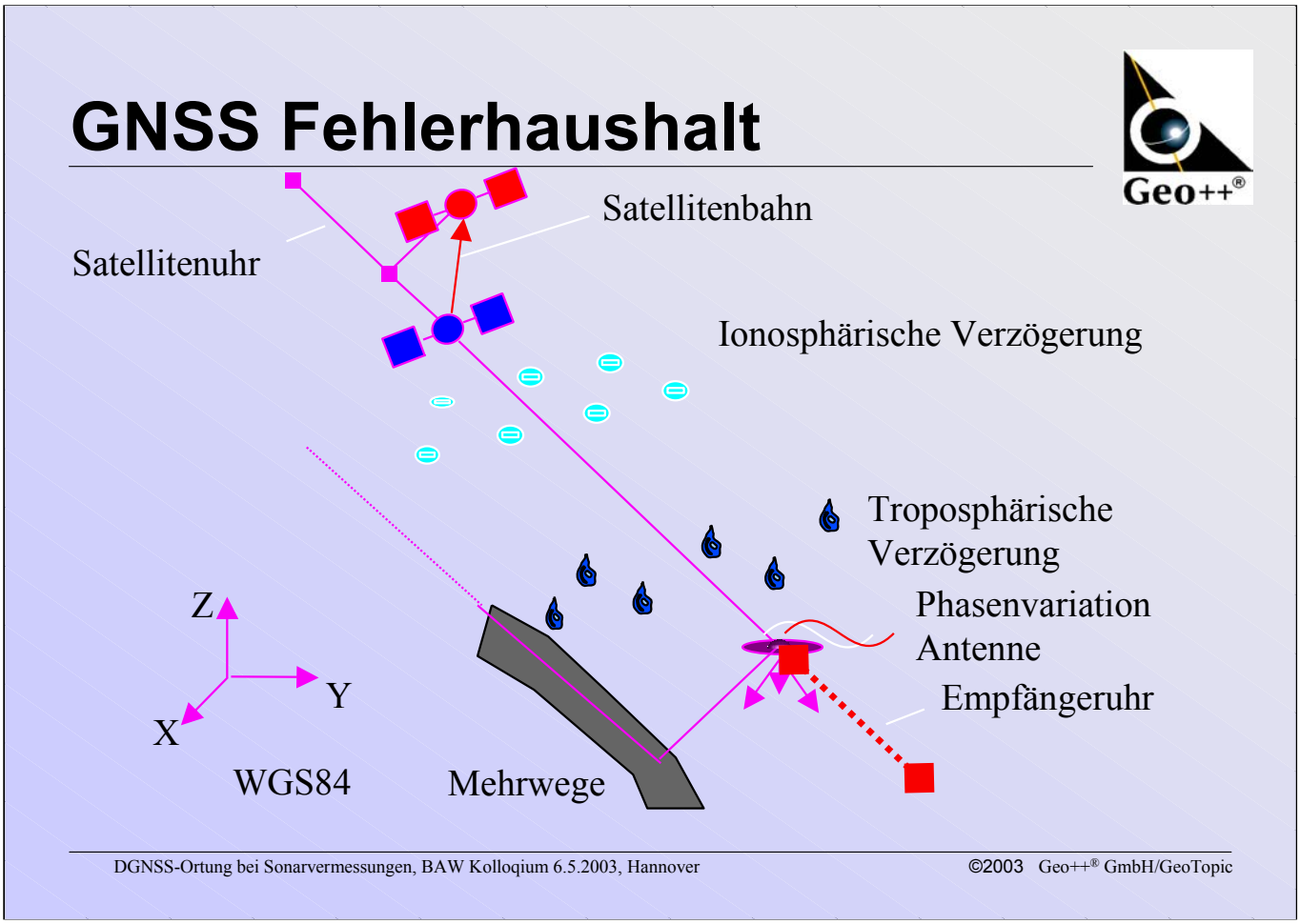
✓ Genauigkeit Messgrössen

- ca. 0.3 cm – 3 cm (Mehrdeutigkeit)

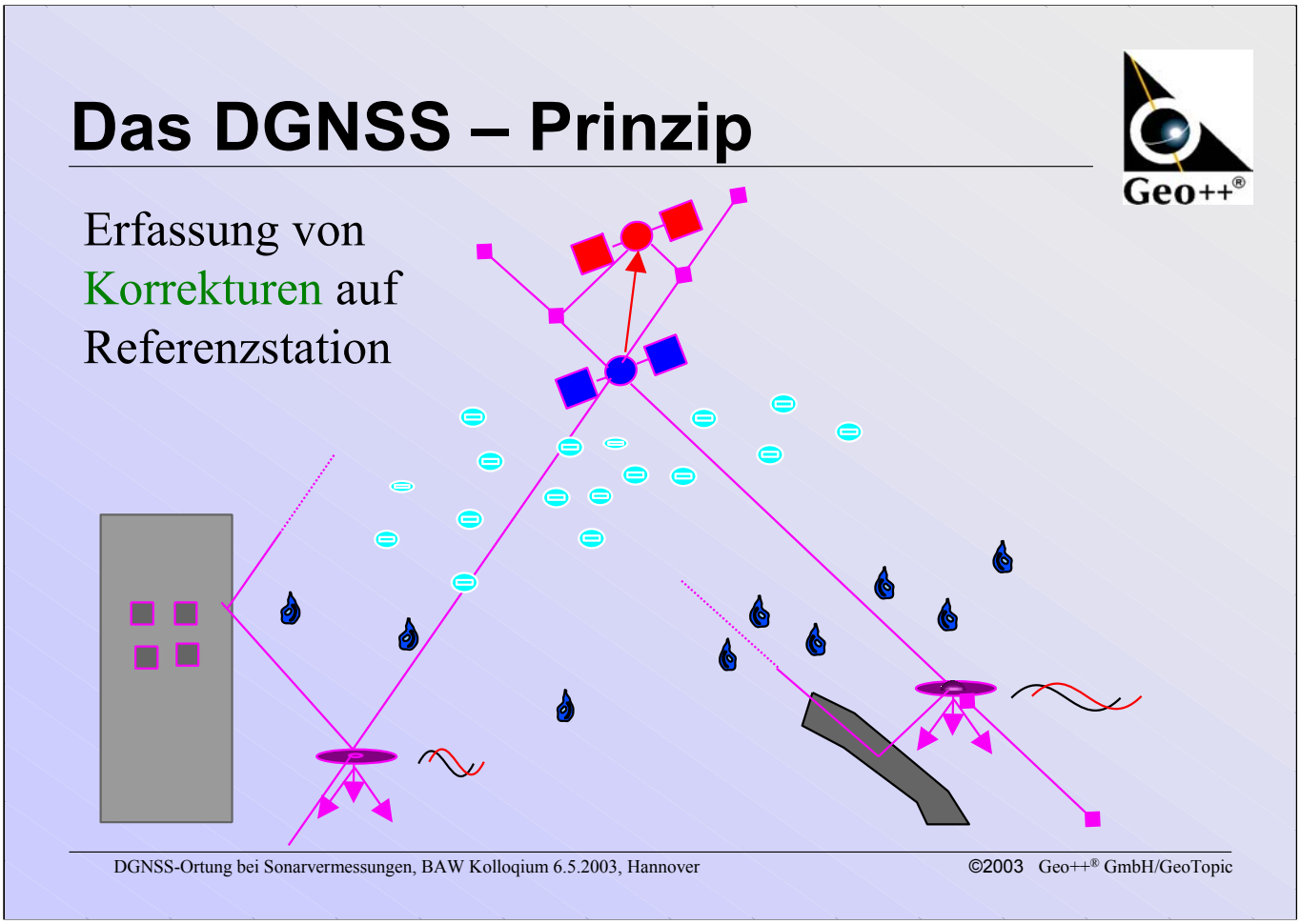
✓ PDOP	Positionsgen.
1	0.3 cm – 3 cm
3	0.9 cm – 9 cm
6	1.8 cm – 18 cm

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Zusätzlich ist die Messgenauigkeit vom Messverfahren abhängig. Die Satelliten senden Funksignale, die einer kurzwelligen Trägerwelle aufmoduliert sind. Das sind insbesondere verschiedene Kodes, erheblich längere Wiederholzyklen haben (das ist die Länge bzw. Zeit von Wellenberg zu Wellenberg) als die Trägerwelle selber. Sie sind damit robuster gegenüber Störeinflüssen, allerdings ist die erreichbare Genauigkeit auch entsprechend geringer.



Das Satellitensignal durchläuft auf dem Weg zum Empfänger nicht ein Vakuum, sondern verzögert sich in der Atmosphäre, wird gebeugt und an Gebäuden oder dem Bodenrelief gespiegelt (Interferenz mit Mehrwege-Signalen). Diese Störungen sind von Ort zu Ort unterschiedlich. Hinzu kommen Fehler der Satellitenuhr und in der Satellitenbahn.



Viele dieser Fehler lassen sich „Wegsubtrahieren“, wenn man nahe der beweglichen Messantenne eine ortsfeste Antenne aufstellt. Die dort empfangenen Signale unterliegen weitgehend den gleichen Fehlern.

Größenordnung der Fehlerquellen

Fehlerquelle	Absoluter Einfluß	Relativer Einfluß
Satellitenbahn	2 ... 50m	0.1 ... 2 ppm
Satellitenuhr	2 ... 100m	0.0 ppm
Ionosphäre	0.5 ... >100 m	1 ... 50 ppm
Troposphäre	0.01 ... 0.5 m	0 ... 3 ppm
Mehrwege Code	m	m
Mehrwege Phase	mm ... cm	mm ... cm
Antenne	mm ... cm	mm ... cm

hohe räumliche Korrelation

lokal (Kalibrierung)

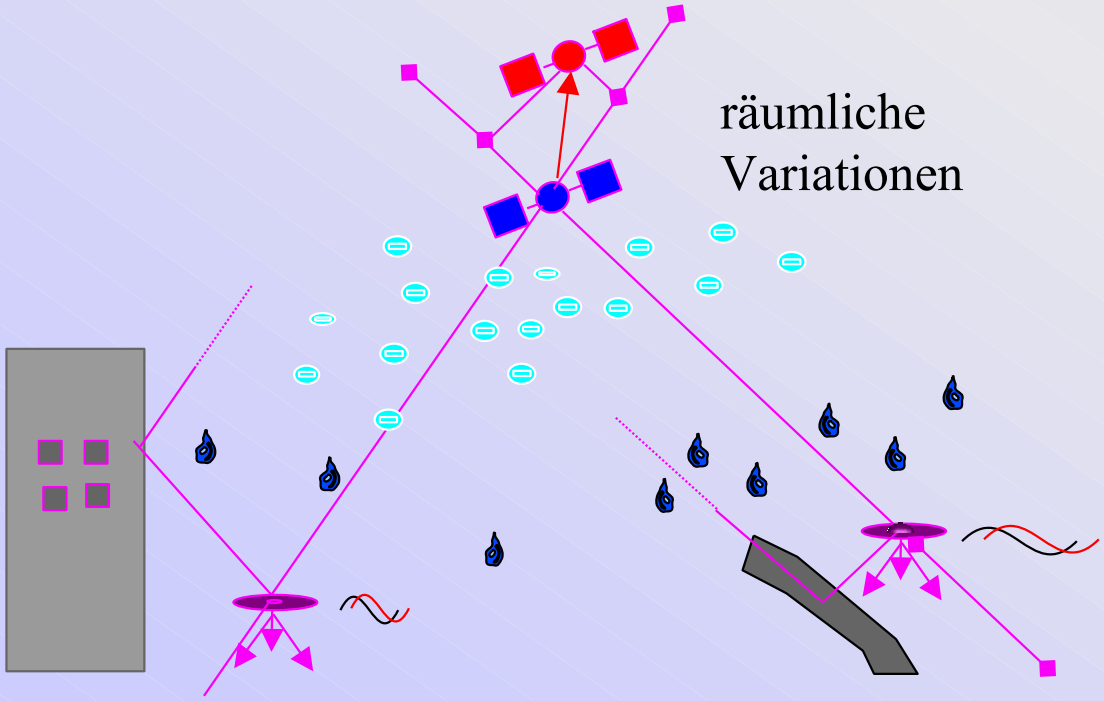
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die Tabelle zeigt den relativen Einfluss und die Größenordnung der verschiedenen Fehlerquellen.

PDGNSS (RTK) – Vernetzung

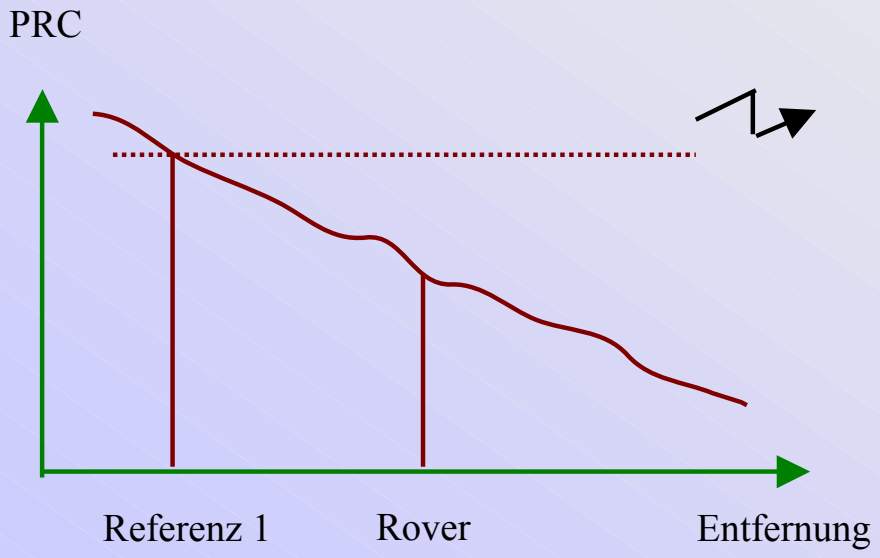
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

GNSS Fehlerhaushalt



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

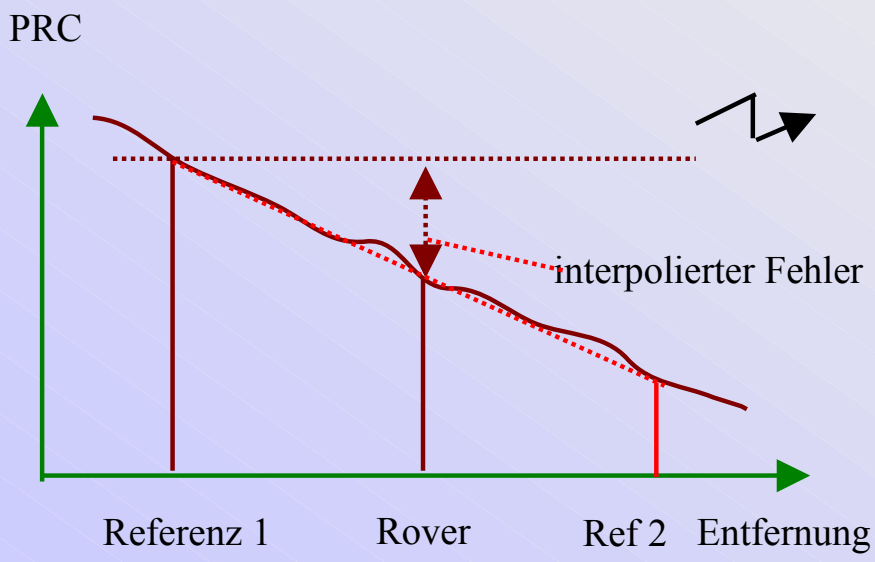
Entfernungsabhängigkeit



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Klar ist, je näher der Referenzempfänger aufgestellt ist, desto besser lassen sich die atmosphärischen Einflüsse eliminieren.

Entfernungsabhängiger Fehler bei RTK Netzen



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Hat man mehrere Referenzempfänger verfügbar, so lässt sich der Fehler für die Mobilstation (Rover) interpolieren. Günstig wäre also eine Netz von Referenzstationen.

PDGNSS (RTK)

Performance wird beeinflusst von

✓ Verfügbarkeit

TTFA – Dauer bis zur Mehrdeutigkeitslösung
(time to fix ambiguities)

Unterbrechungen (Echtzeit, Postprozessing)

✓ Zuverlässigkeit

Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitslösung

- Störungen durch Abschattung, Bewuchs, Mehrwegeausbreitung

✓ Genauigkeit

PDOP, Störungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die Herstellerangaben zur Genauigkeit gelten stets für ideale Bedingungen und besagen nur, was mit der betreffenden GPS-Anlage erreichbar sein kann. Besonders in der kinematischen Anwendung ergeben sich häufig Re-Initialisierungen, die Genauigkeit und vor allem Zuverlässigkeit beeinträchtigen.

Besonderheiten der GNSS Ortung auf Wasserstraßen

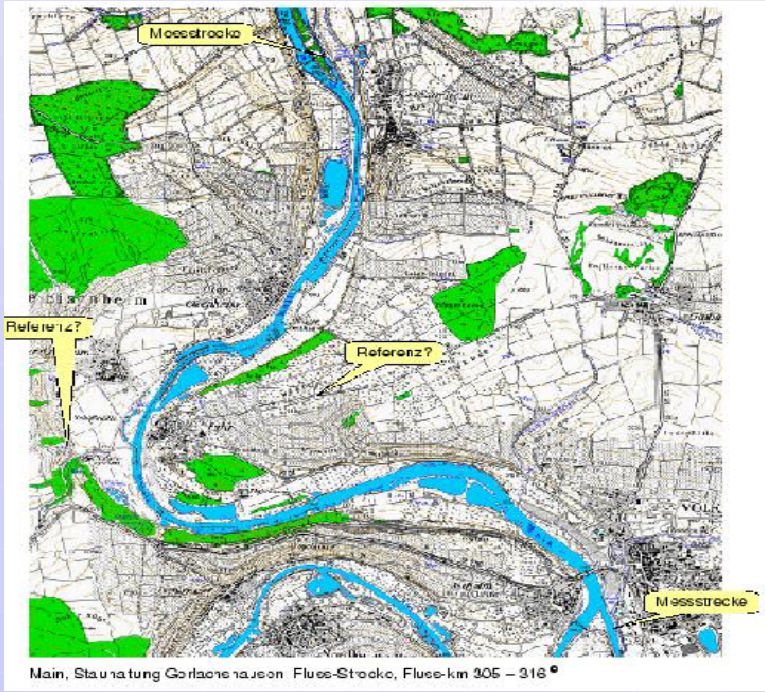
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Ortung: Merkmale und Anforderungen

- ✓ Bereitstellung der Position in Echtzeit an die Sonarmeßanlage
  - Zeitsynchronisation der Daten (seriell, PPS, Datenalter)
- ✓ Navigationsanzeige für Soll-Profilbefahrung
  - geringes Rollen, Stampfen während der Messung steigert die Genauigkeit bei der digitalen Bildverarbeitung
- ✓ Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Position auch unter schwierigen Empfangsbedingungen
  - Nutzung von GPS und GLONASS
  - Geländeeinschnitte problematisch für GNSS und Kommunikation (GSM, FUNK)

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Topographische Besonderheiten



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Messungen auf Binnengewässern sind, anders als auf hoher See durch topografische Besonderheiten geprägt. Die Horizont-Einschränkungen betreffen nicht nur den Empfang des Referenzsignals von der Referenzstation, die also möglichst günstig im Messgebiet aufzustellen ist. Das Gewässer ist oft tief ins Land eingeschnitten, was den freien Himmelsausschnitt auch für den Satelliten-Empfang einengt.

Typische Empfangsbedingungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Bei 15° Horizont-Elevation (rundum) werden schon ein Viertel und bei 20° ein Drittel des Himmels verdeckt. Hinzu kommen Gebäude oder Uferbewuchs, was kurzzeitig zu einer Halbierung des sichtbaren Firmaments führt und entsprechende Empfangslücken zur Folge hat. So eine Empfangslücke bedeutet, dass sich die Empfänger neu initialisieren müssen, die Mehrdeutigkeiten gerade bei der hoch auflösenden Trägerphasen-Ortung neu gelöst werden müssen.

Abschattungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Anderseits ist sektorell oft ein niedriger Horizont gegeben, so dass eine zu hoch eingestellte Elevations-Maske sich nachteilig auswirkt. Ein aus so einer Sichtachse empfangener Satellit verbessert durch seinen günstigen Schnittwinkel den PDOP und damit die Genauigkeit oftmals erheblich.

Abschattungen durch Brücken

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Zu Empfangslücken kommt es aber unweigerlich bei der Durchfahrt unter Brücken, Hier ein Bild aus der Stadtstrecke Bamberg.

Zur Zeit eingesetztes Verfahren

- ✓ DGNSS in Echtzeit (dm-Genauigkeit)
  - Eigene Referenzstation
    - Sichere Datenkommunikation (Redundanz Funk, GSM)
    - Direkter Bezug auf die Hektometersteine
    - Kostenreduzierend
  - Navigation
    - Mit Situationsdaten
    - Sollprofilbefahrung
  - Zeitsynchronisation mit der Sonarmessung
- ✓ PDGNSS Lösung in Echtzeit (cm-Genauigkeit)
  - Problem: Mehrdeutigkeiten nicht durchgängig lösbar

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die Vorteile einer eigen Referenzstation liegen nicht nur in einer sicheren Datenkommunikation, sondern gegenüber den öffentlichen Referenzdiensten können auch die Glonass-Satelliten verfügbar gemacht werden. Ferner ist ein unmittelbarer Bezug auf das örtliche Referenzsystem möglich.

Nachbearbeitung der Echtzeitergebnisse

- ✓ schließen von Beobachtungslücken (i.d.R. verursacht durch Brücken)
- ✓ Generierung von Splines (Glättung, Interpolation)
- ✓ Berücksichtigung von Antennen-Exzentrizitäten
- ✓ Glättung der Trajektorie
- ✓ Verwendung der PDGNSS Lösung, dadurch große Bereiche mit cm-Genauigkeit
- ✓ Transformation in lokales Koordinatensystem

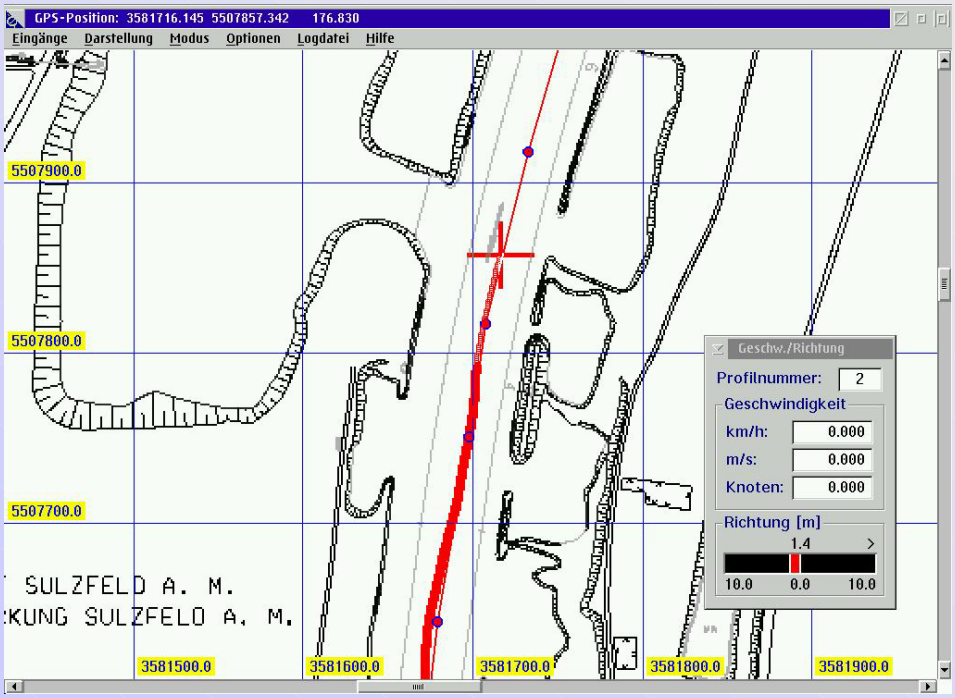
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Ohne Nachbearbeitung sind keine durchgängig guten Resultate zu erreichen. Es sei davor gewarnt, Echtzeitergebnisse unmittelbar zur weiteren Datenbearbeitung zu verwenden.

Navigationsanzeige

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Navigation



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

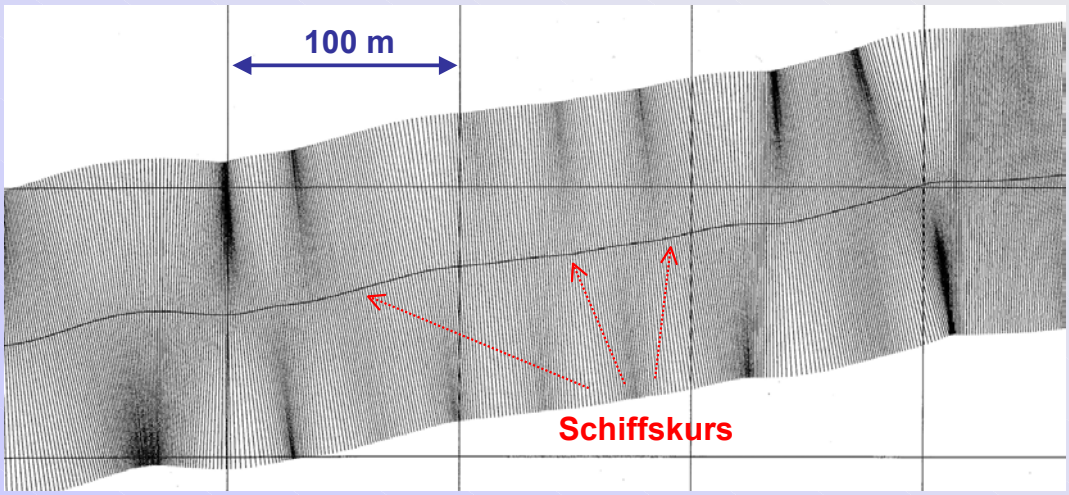
Schon eingangs und im ersten Beitrag von Herrn Tietze war gesagt, dass eine gute Bahnführung sprich Schiffsführung direkten Einfluss auf die Qualität von Sonarbildern hat. Dem Schiffsführer wird in Echtzeit ständig Schiffsposition, Sollprofil und der tatsächlich zurückgelegte Weg angezeigt. Dies wird unterstützt durch eine Rechts-Links-Anzeige, die die Ablage vom Sollprofil auf einem Balkendiagramm verdeutlicht. Hinzu kommt eine genaue Kontrolle der tatsächlichen Schiffsgeschwindigkeit über Grund. Da sich das Schiff in einem stark inhomogenen Strömungsfeld bewegt ist, ist kein Verlass auf den subjektiven Eindruck oder die Wellendrehzahl.

Navigationsanzeige

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Hier noch ein Praxisbild mit der Navigationsanzeige. Psychologische Momente treten hinzu. Der Schiffsführer hat den Ehrgeiz, dass Schiff genau auf dem Sollkurs zu führen. Das führt zu relativ häufigen und auch starken Kurskorrekturen.

Der Einfluss des Schiffsführers



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Dieses Bild haben Sie heute schon mal gesehen. Es verdeutlicht, welche Bedeutung ein sauberer Schiffskurs auf die Erzeugung homogener Sonardaten hat. Obwohl das Profil vergleichsweise gut abgefahren wurde, führen die Kurskorrekturen zu einem Gieren des Schiffes und einer inhomogenen Pixeldichte der Sonaraufnahmen.

Anforderung an die Navigationsanlage

- ✓ Dämpfung der Rechts-Links-Anzeige (Gummiband) zur Vermeidung starker Kurswechsel
- ✓ Einbindung von
  - Ruderlage
  - Wellendrehzahl
  - zur Optimierung der Bahnführung
- ✓ Ziel
  - Automatische Bahnführung
    - Steuerung von Ruderlage und Wellendrehzahl

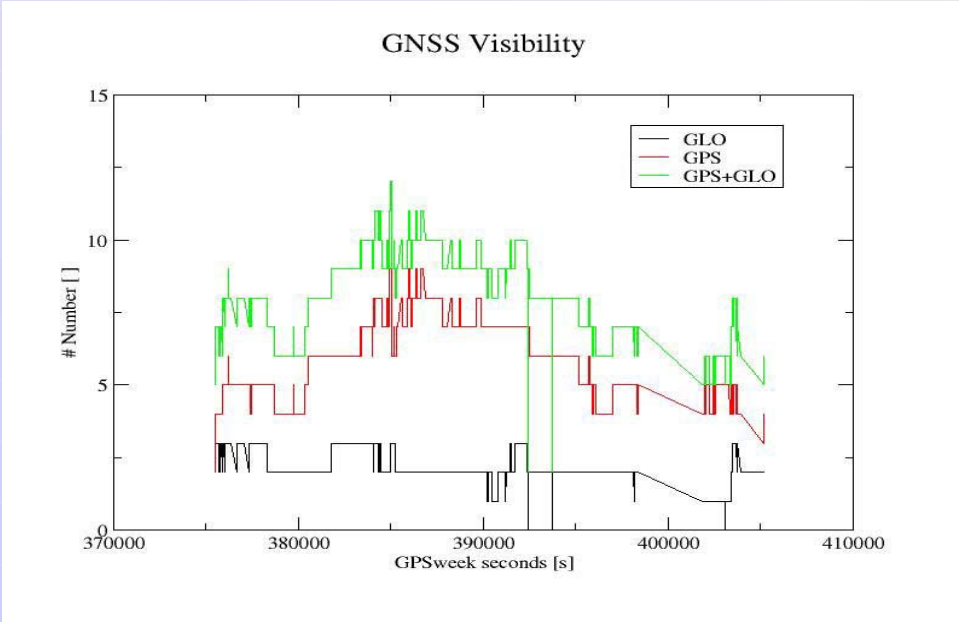
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Künftig wird die Rechts-Linksanzeige verfälscht und per Software mit einer künstlichen Trägheit versehen, um das Heading (deutsch: rechtweisenden Kurs), also den Azimut der Schiffslängsachse, zu stabilisieren. Dazu wäre es wünschenswert, auch Ruderlage und Wellendrehzahl in die Datenerfassung einzubeziehen. Fernziel wäre dann eine automatische Bahnführung, wo die Ortung Antrieb und Ruder direkt steuern. Der Schiffsführer greift nur noch außerhalb der Profilfahrt oder bei Hindernissen bzw. Schiffverkehr ein.

Nutzung von GPS und GLONASS

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Verbesserung der Verfügbarkeit durch GLONASS

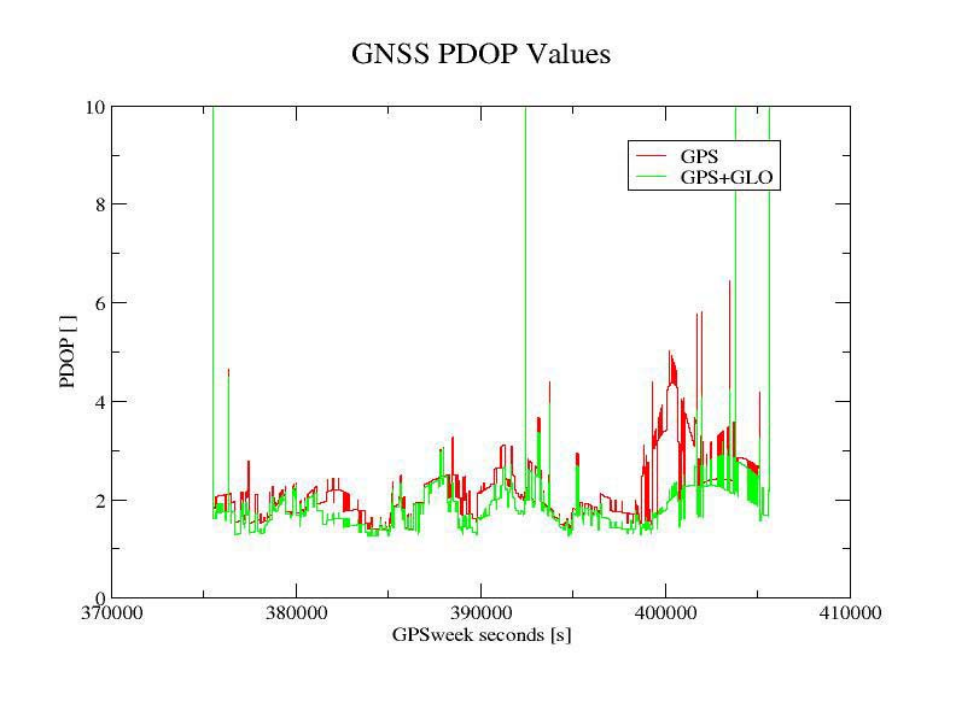


- ✓ März 2003
- ✓ 5° Elevations-maske

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Durch die Abschattung des sichtbaren Himmels werden entsprechend weniger Satelliten empfangen. Dies lässt sich ein wenig ausgleichen, wenn man zusätzlich zu den amerikanischen GPS- auch die russischen GLONASS-Satelliten verarbeitet. In der Praxis nämlich ist oft keine ausreichende Anzahl von GPS-Satelliten zu empfangen. Eine Kombination beider Systeme vermeidet Datenlücken und verbessert den PDOP-Wert. Das Bild zeigt ein Histogramm der empfangenen Satellitenzahl über ca. 8 Stunden.

Verbesserung PDOP durch GLONASS



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Dieses Diagramm über die selbe Zeitspanne zeigt die erreichte Verbesserung des PDOP-Wertes

Optimierung durch “Postprocessing”

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Verbesserung durch „Postprocessing“

- ✓ Echtzeitpositionierung

  Nur Daten der Vergangenheit nutzbar

  ➔ inhomogene Qualität der Positionsdaten vor und hinter lokalen Störungen (Abschattungen, Bewuchs, Multipath)

- ✓ „Postprocessing“

  Auch Daten aus der Zukunft nutzbar (Rückwärtsfilter)

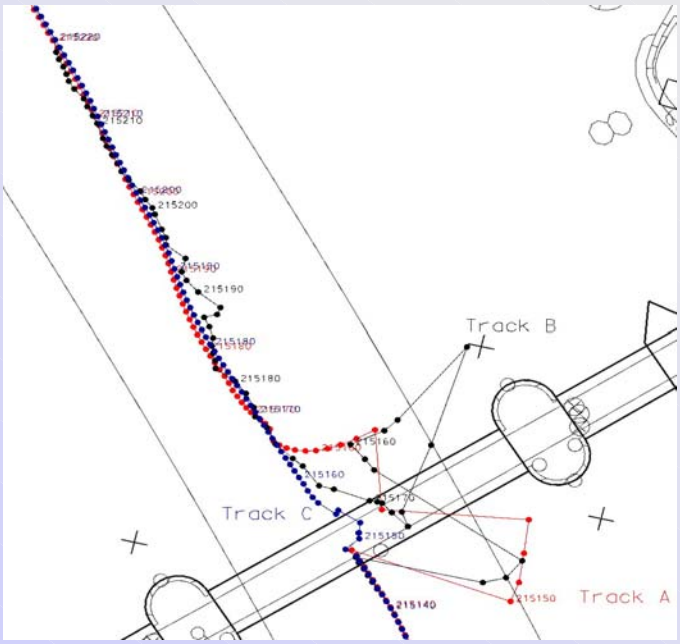
  ➔ Verbesserung der Qualität der Positionen im Bereich der Störungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Zahlreiche Störungen, wie z.B. eine Unterbrechung durch eine Brücke, wirken sich symmetrisch auf die vom Satelliten empfangenen Daten aus. Entsprechend lassen sich diese Lücken durch mathematische Filter, im einfachsten Falle durch eine lineare Interpolation schließen. Will man aber auch Daten nach bzw. hinter der Störung nutzen, damit es nicht nur eine Extrapolation ist, geht dies schon nur im Postprozessing, wenn man nämlich diese Daten verfügbar hat. Dies sind Daten, die im Zeitpunkt der Störung aber noch in der Zukunft liegen, also in Echtzeit nicht verfügbar sind.

Vergleich der Ergebnisse

- ✓ DGNSS in Echtzeit (Track B)
- ✓ PDGNSS in Echtzeit (Track A)
- ✓ PDGNSS im Post-Processing (Track C)



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Dieses Bild zeigt, was bei einem vollständigen Signal-Abriss bei einer Brückendurchfahrt geschieht.

Trotz Post-Processing ist eine manuelle Nachbearbeitung, will man nicht zu stark automatisch glätten, erforderlich.

Eigene Referenz oder Referenzdienst?

- ✓ **Nutzung von Referenzdiensten wie z.B. SAPOS**
- ✓ **Vorteile:**

  Keine eigene Station erforderlich
- ✓ **Nachteile:**
  - **i.d.R. kein GLONASS**
  - **i.d.R. keine redundante Kommunikationseinrichtung (nur GSM)**
  - **i.d.R. lokale Anschlussmessung zur Transformation der Ergebnisse in lokales Koordinatensystem erforderlich**
  - **große Entfernungen nur bei vernetztem Referenznetz**
    - **➔ weniger Satelliten durch höhere Elevationsmaske (10-15°)**
    - **oft nur VRS Betrieb (Probleme bei kinematischen Messungen)**
  - **Kosten:**
    - **GSM+HEPS Gebühren für Echtzeit**
    - **Gebühren für Postprocessing Daten (RINEX)**

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Weitere Möglichkeiten

und

zukünftige Entwicklungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

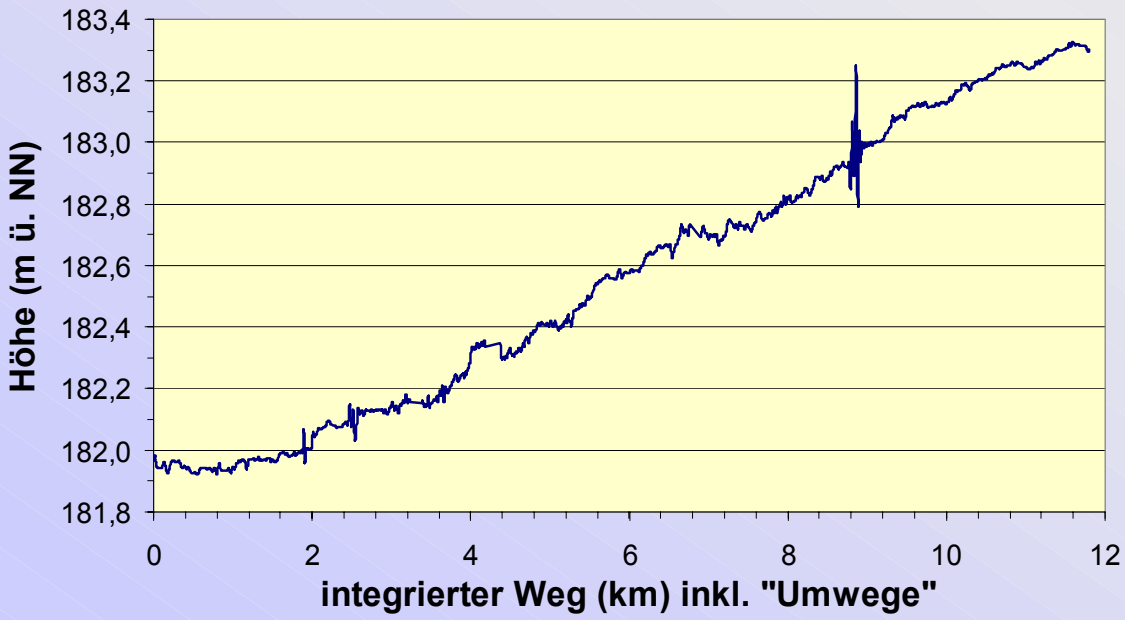
Weitere Möglichkeiten

- ✓ Genauigkeiten von 1-2 cm, auch für die Höhe
  - PDGNSS – Verfahren
  - Verwendung von kalibrierten Antennen
  - Verwendung von mehreren Referenzstationen
- ✓ Zukunft: Nutzung von GALILEO

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die Signalverarbeitung ist hinsichtlich einer genauen Ortsbestimmung optimiert. Allerdings sind bei einer guten Datenqualität heute auch in der Höhe Genauigkeiten im cm-Bereich durchgängig möglich.

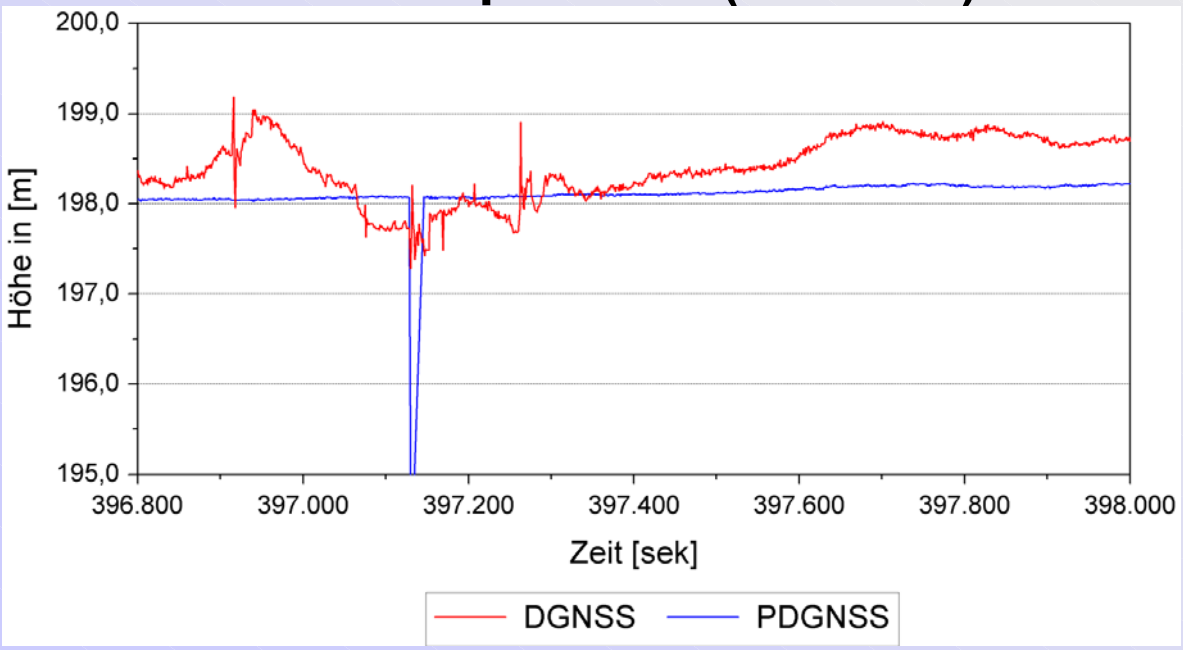
Höhenprofil einer Stauhaltung



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Mit der inzwischen erreichbaren Ortungsgenauigkeit wird auch die Höhe zu einem kinematisch messbaren Parameter. Dieses Diagramm zeigt ein Höhenprofil durch eine Stauhaltung. Deutlich ist das stetige Gefälle von insgesamt ca. 1,4 m zu sehen. Interessant ist die Stauwirkung des in den unteren 2 Flusskilometern.

Gegenüberstellung DGNSS/PDGNSS in der Höhenkomponente (Echtzeit)



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Vor allem in der Höhe zeigt sich die Überlegenheit des PDGNSS-Verfahrens. Dennoch ist mit gelegentlichen, aber offensichtlichen Ausreißern zu rechnen.

cm-Genauigkeit durch PDGNSS

- ✓ Lösung der Trägerphasen-Mehrdeutigkeit
  - in Echtzeit
    - sofortige Verfügbarkeit
    - Modellierung aller Fehlereinflüsse durch undifferenzierte Ansätze
  - im Post-Processing
    - sieht auch in die Zukunft
    - mehr Möglichkeiten zur Mehrdeutigkeitslösung

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

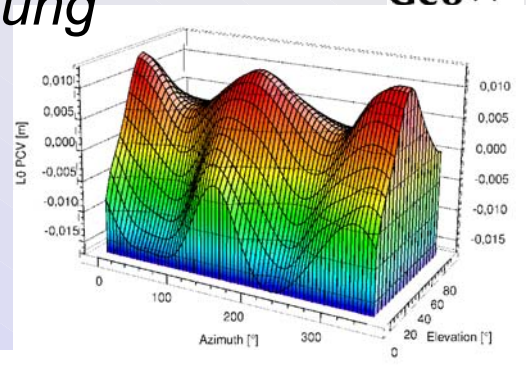
PCV Antennenkalibrierung

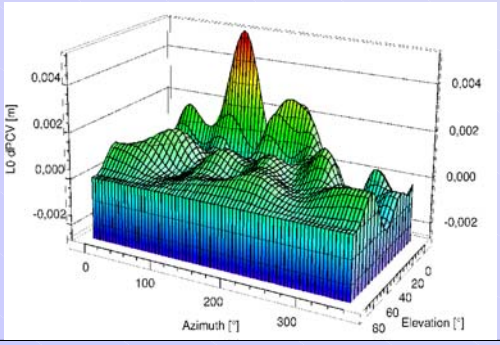
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

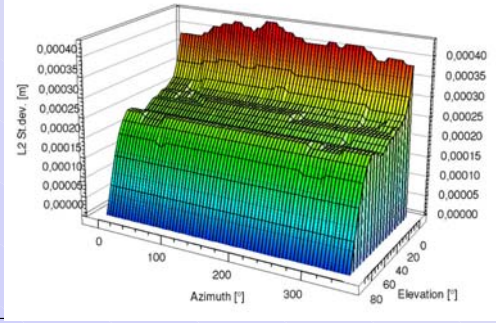
Wiederholbarkeit und Genauigkeit der absoluten PCV Feldkalibrierung

Beispiel:

- ✓ ***absolut L0 PCV : -10 to 15 mm Bandbreite***
- ✓ ***Std.-abw. of L2 PCV : 0.2 to 0.4 mm Bandbr.***
- ✓ ***Differenz L0 PCV, 5 Monate Zeitunterschied: 1 mm im Mittel, Horizont ausgenommen***







©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Antennen sind nicht isotrop, sondern zeigen eine Richtungsabhängige Variation des Phasenzentrums (PCV = phase center variation). Hierdurch entsteht ein Ortungsfehler, der sich durch eine Antennen-Kalibrierung ausgleichen lässt.

Weitere Anwendungen

- ✓ Ermittlung der Schiffsdynamik
  - Squat (Einsinkverhalten, Tauchung)
  - RwK, Stampf-, Rollwinkel (Attitude) (Heading, Pitch, Roll)
  - Fahrt über Grund

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Mit mindestens drei Antennen, die möglichst weit auseinander auf einem Schiff verteilt stehen, lassen sich die drei Lagewinkel

•Rechtweisender Kurs (Heading)

•Rollwinkel

•Stampfwinkel

bestimmen.

In Verbindung mit einer genauen Höhenmessung lässt mit PDGNSS das Einsinkverhalten eines Schiffes im Gewässer messen.

Lagebestimmung (Attitude)

- ✓ Einsatz von >3 Antennen an Bord erlaubt präzise Bestimmung der Schiffslage (Orientierung)
  - Heading, Pitch, Roll
  - Genauigkeit abhängig von Distanz der Antennen (<0.1°)
- ✓ Möglichkeit zur Zentrierung der Positionen auf beliebige Punkte am Schiff
  - Verwendung mehrerer Sensoren mit individuellen Positionen
- ✓ Simulationsbeispiel: Referenzsystem für Lagebestimmung auf BSH Schiff: Gauss

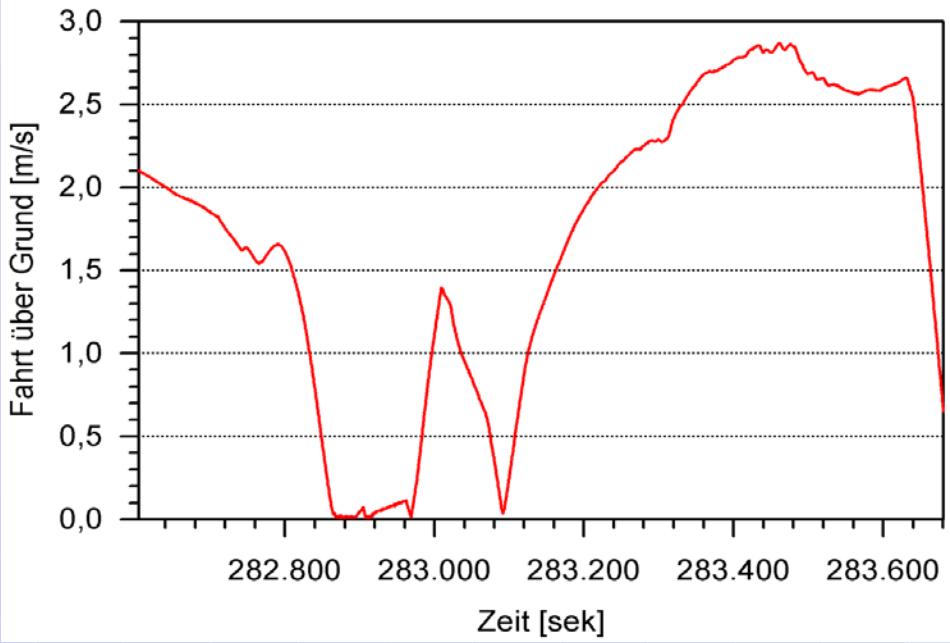
©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Squat-Bestimmung

- ✓ Beispiel aus einem Projekt mit der BAW
  - 70 m langes, typisches Binnenschiff
  - Peenestrom
  - Dynamikparameter aus 5 GPS- Antennen
  - Post-Processing
  - Aufzeichnungsrate 2 Hz

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

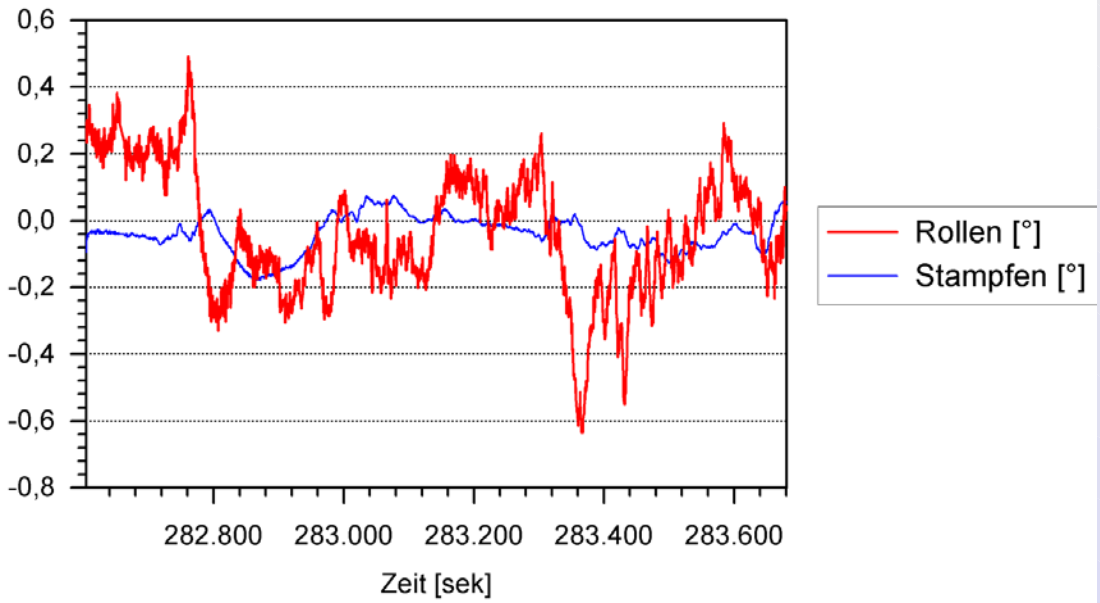
Fahrt über Grund



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Dieses Bild zeigt die tatsächliche Fahrt über Grund bei dem o.g. Feldversuch. Man sieht, wie das Schiff stoppt und wieder Fahrt aufnimmt.

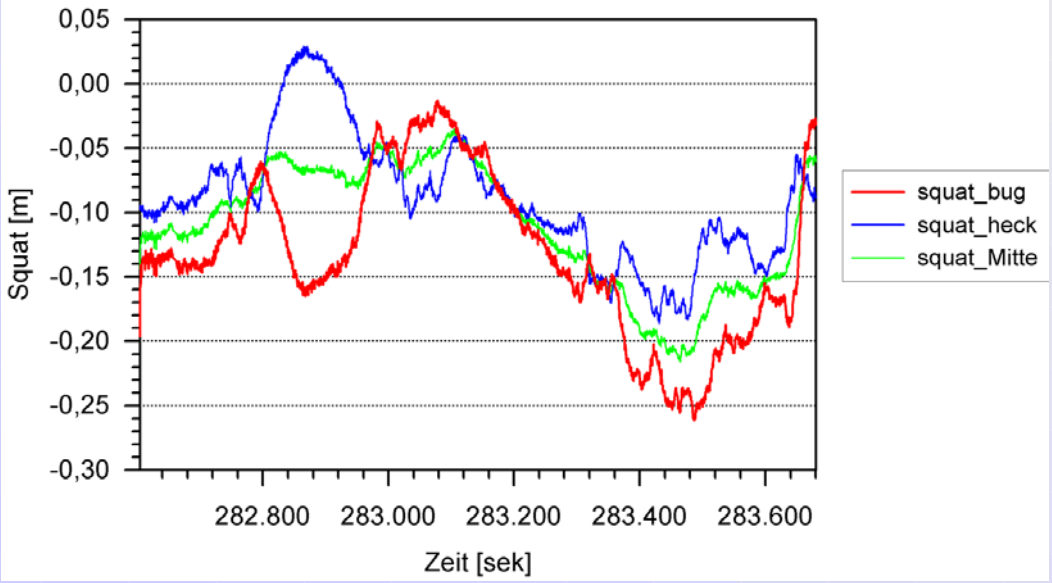
Rollen und Stampfen



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Hier das selbe Zeitfenster. Man sieht, dass der Stampfwinkel genauer und mit weniger Streuung gemessen werden kann als der Rollwinkel, weil die Antennen über die ganze Schiffslänge weiter auseinander stehen als über die geringere Schiffsbreite.

Squat (Einsinkverhalten, Tauchung)



©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Hier noch mal das selbe Zeitfenster. Man kann deutlich sehen, dass beim Aufstoppen das Heck aufsteigt, während der Bug einsinkt.

DGNSS Ortung bei Sonarmessungen

©2003 Geo++® GmbH/GeoTopic

Die waren ein paar Anwendungsbeispiele. Sie zeigen auf, welche Genauigkeiten mit moderner Satellitengeodäsie heute erzielbar sind, aber auch, welcher Aufwand dazu erforderlich ist, wo derzeit die Grenzen liegen, und wohin die Entwicklung geht.

Wir danken für Ihre Aufmerksamkeit.