

## SEA GATE Infrastruktur

SEA GATE ...  
 -... ist Test- und Entwicklungs-  
 umgebung für zukünftige Galileo-  
 Anwendungen  
 - ... wird von Rostocker System  
 Technik betrieben  
 - ... ermöglicht Test von Hard- und  
 Software für Galileo-Nutzersegment,  
 noch bevor echtes Galileo-Satelliten-  
 Signal verfügbar ist



**Fig.1** Rostocker Hafen mit PSLs (gelb) und Referenzstationen (rot) (Quelle: www.sea-gate.de, 19.9.2014)

- Sendesegment besteht aus neun bodengebundenen Pseudoliten (PSL)
- PSLs senden Galileo-artige Signale => PSLs übernehmen Rolle der späteren Galileo-Satelliten

- Monitor- und Kontrollsegment mit zwei Referenzstationen
- SEA GATE eigenes Nutzersegment besteht aus zwei Empfängern auf Fähre „Mecklenburg-Vorpommern“ (Portside / Starboard Antenna)
- Code- und Trägerphasen-Beobachtungen sowohl der PSLs als auch der GPS-Satelliten



← **Fig.2** Fähre „Mecklenburg-Vorpommern“ (Quelle: www.gemo-netz.de, 01.10.2014)

## Analyse der Pseudolite-Beobachtungsdaten

- Code-Beobachtungen an den Schiffsantennen in vier Sessions ( je 4h)
- PSLs 1 bis 6 und 8 waren aktiv

Fahrtverlauf in jeder Session besteht aus:

- Fahrt auf Ostsee (A)
- Fahrt innerhalb Hafen Rostock (B)
- Ent-/beladen am Fährterminal (C)

Im Hafen (B/C):

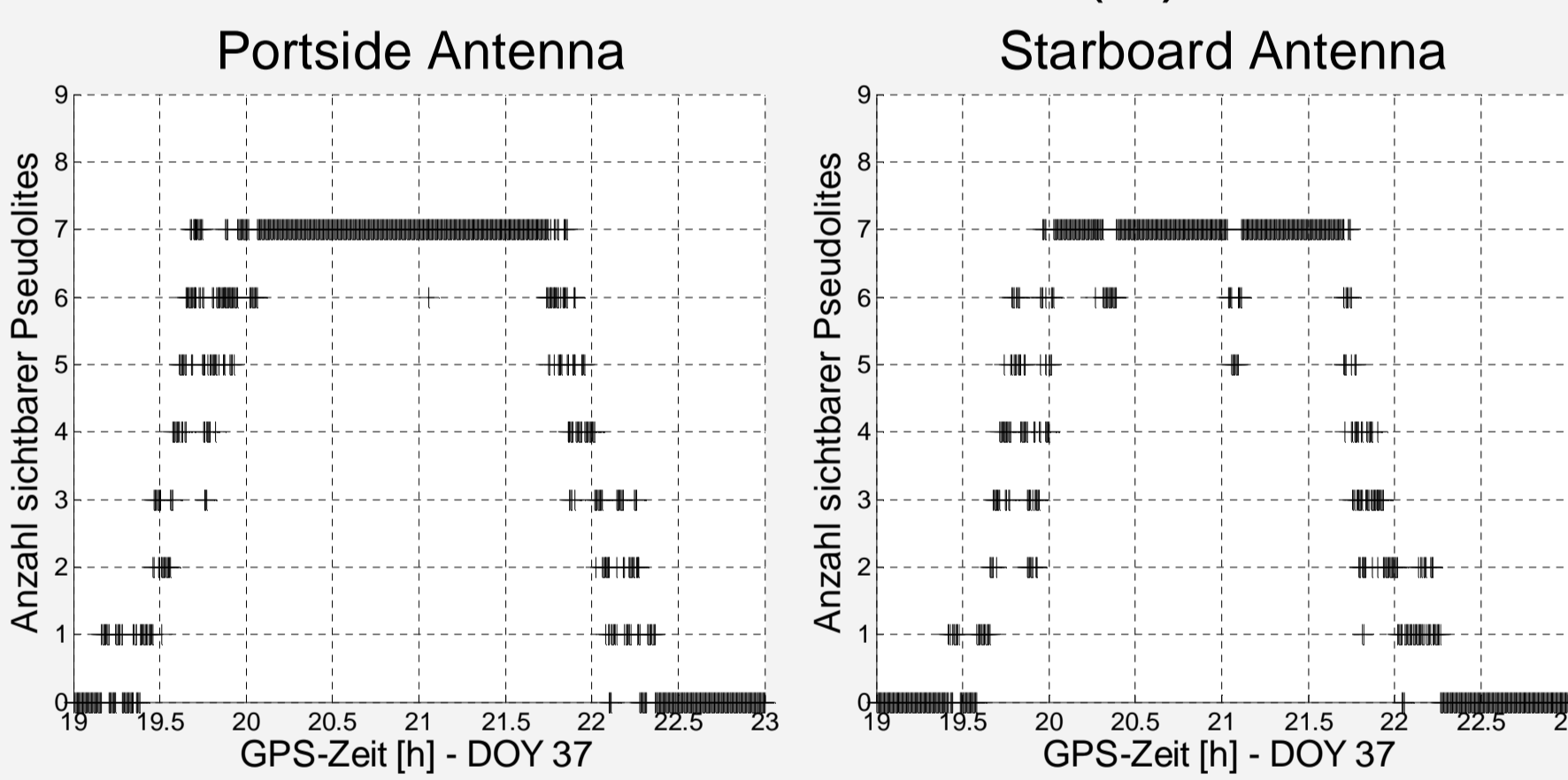
- in der Regel alle aktiven PSLs an beiden Antennen empfangbar
- kurzzeitige Unterbrechungen einzelner PSL-Signale, vermutlich wegen Abschattungen durch Bauwerke und andere Schiffe

Auf dem Meer (A):

- Anzahl empfangener PSLs abhängig von Entfernung zu SEA GATE Gebiet
- An Portside Antenna Empfang in größerer Entfernung möglich als an Starboard Antenna

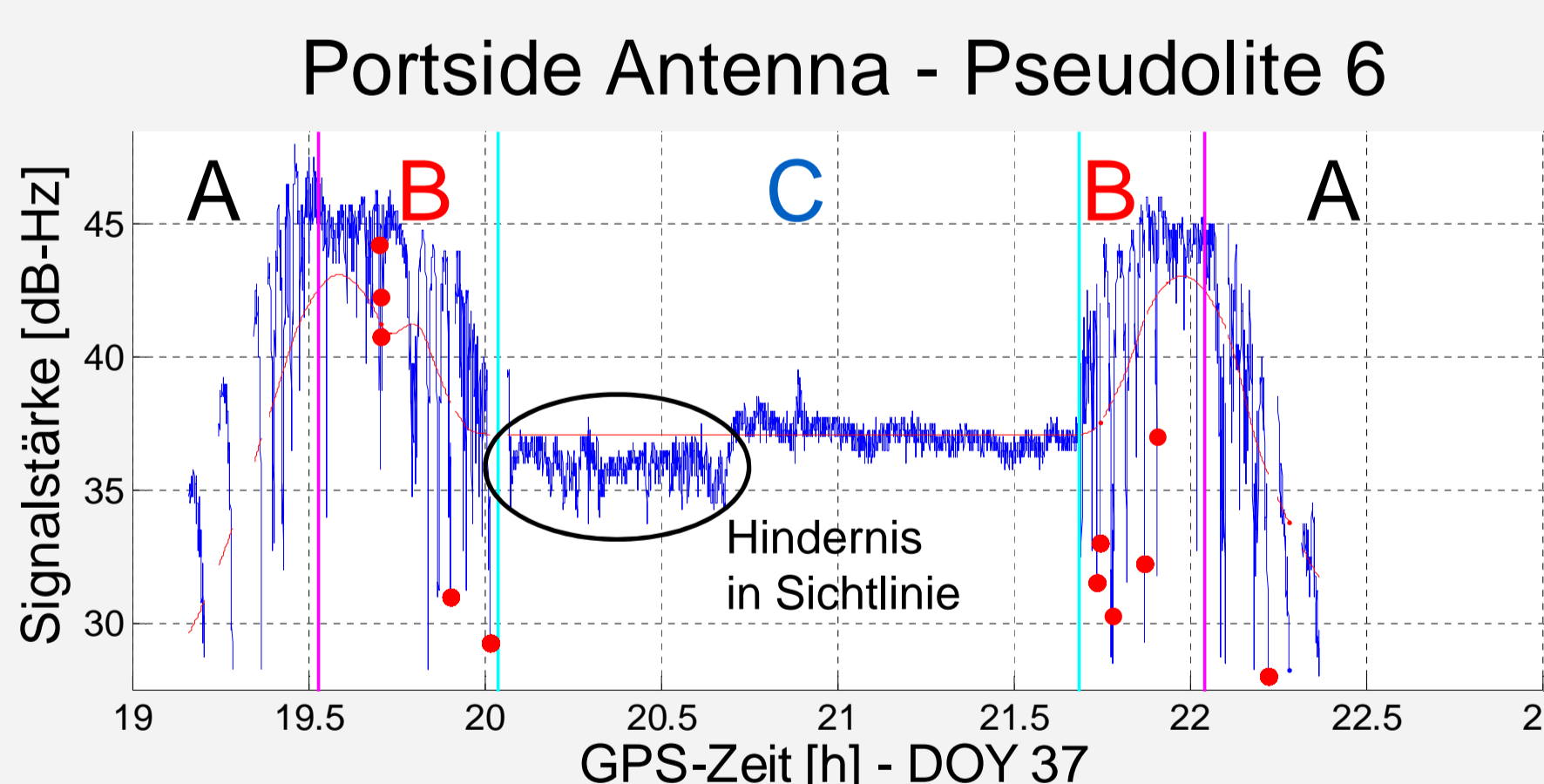
Signalstärke ...

- ... ist abhängig von Entfernung des jeweiligen PSLs
- ... gibt Aufschluss über Hindernisse in der Sichtlinie



**Fig.4** PSL-Sichtbarkeit an Portside Antenna

**Fig.5** PSL-Sichtbarkeit an Starboard Antenna



**Fig.6** C/N0-Observable von PSL 6 (Portside 37/2) rot: zu erwartender entfernungsabhängiger Verlauf Punkte: Empfangsunterbrechungen.

## Korrektur der troposphärischen Refraktion

- Modellannahme: einheitliche meteorologische Bedingungen im Messgebiet
- Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit gemessen an der Station Rostock-Warnemünde des Deutschen Wetterdienstes
- Berechnung des Brechungsindex für Mikrowellen nach Formel von Essen und Froome
- An untersuchten Februartagen Einfluss der troposphärischen Refraktion auf Pseudorangemessung 300 bis 314 ppm => Korrekturwerte  $T_i$  bis zu 1,6 m

**Dank:** Teil der Arbeiten wurden im Rahmen des Vorhabens BERTA (50NA1012) durchgeführt, das vom BMWi aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Wir danken RST Rostock für die freundliche Bereitstellung der SEA GATE Daten.

## Positionierung mit Pseudolite-Beobachtungen

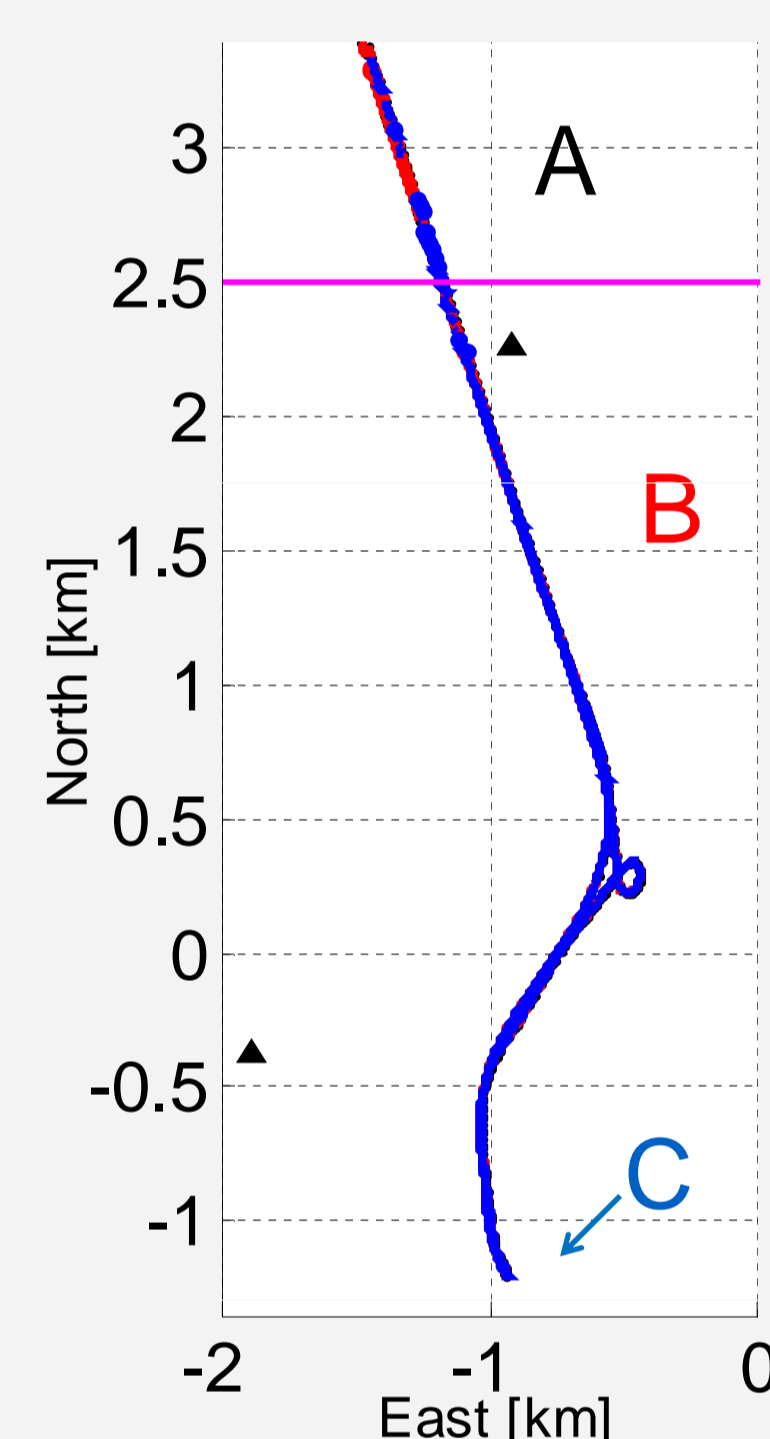
- 2D-Positionierung der Schiffsantennen (3D-Positionierung hätte niedrige Genauigkeit, da PSLs auf annähernd horizontaler Ebene liegen)
- Nichtlineares Ausgleichsproblem, iterativ zu lösen
- Drei zu schätzende Parameter: Nord ( $X_1$ ), Ost ( $X_2$ ), Empfängeruhrfehler ( $c \cdot \delta t$ ) => Mindestens drei Beobachtungen (Pseudoranges) notwendig
- Koordinaten der PSLs liegen in 3D-topozentrischem Koordinatensystem vor
- Konstante Höhe  $h$  der Empfangsantennen muss ebenfalls bekannt sein
- Näherungskordinaten  $X^0$ : Positionierungsergebnis aus vorheriger Epoche
- Schrägdistanz zu PSL <sub>$i$</sub> :  

$$\rho_i = \sqrt{((PSL_{i,1} - X^0_1)^2 + (PSL_{i,2} - X^0_2)^2 + (PSL_{i,3} - h)^2)}$$
- Berechnete Pseudorange:  $PR_{0i} = \rho_i + T_i + c \cdot \delta t^0$
- Zwei verschiedene Beobachtungsgewichtungen implementiert:
  - Einheitsgewichtung
  - Gewichtung nach absoluter Signalstärke

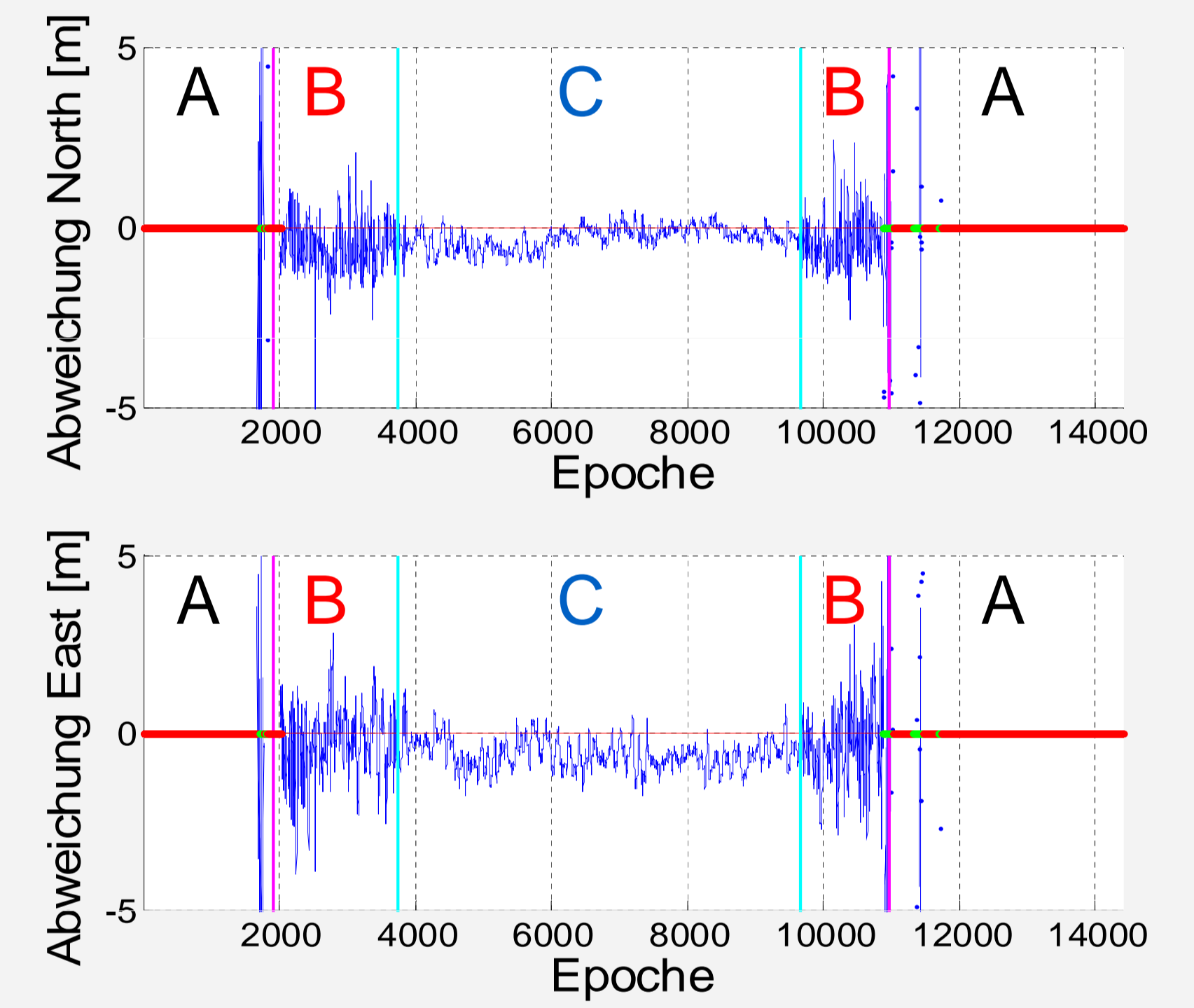
## Qualität der Positionierungsergebnisse

Verfügbarkeit:

- Während Fähre am Terminal liegt, ist PSL-Positionierung an beiden Antennen in jeder Epoche möglich
- Für Portside Antenna ist Positionierungslösung auch in 98 % der übrigen Epochen im Hafen verfügbar (einzelne Ausfälle nahe Hafeneinfahrt)
- Für die Starboard Antenna ist die Verfügbarkeit etwas geringer (Störungen ebenfalls hauptsächlich an Hafeneinfahrt)



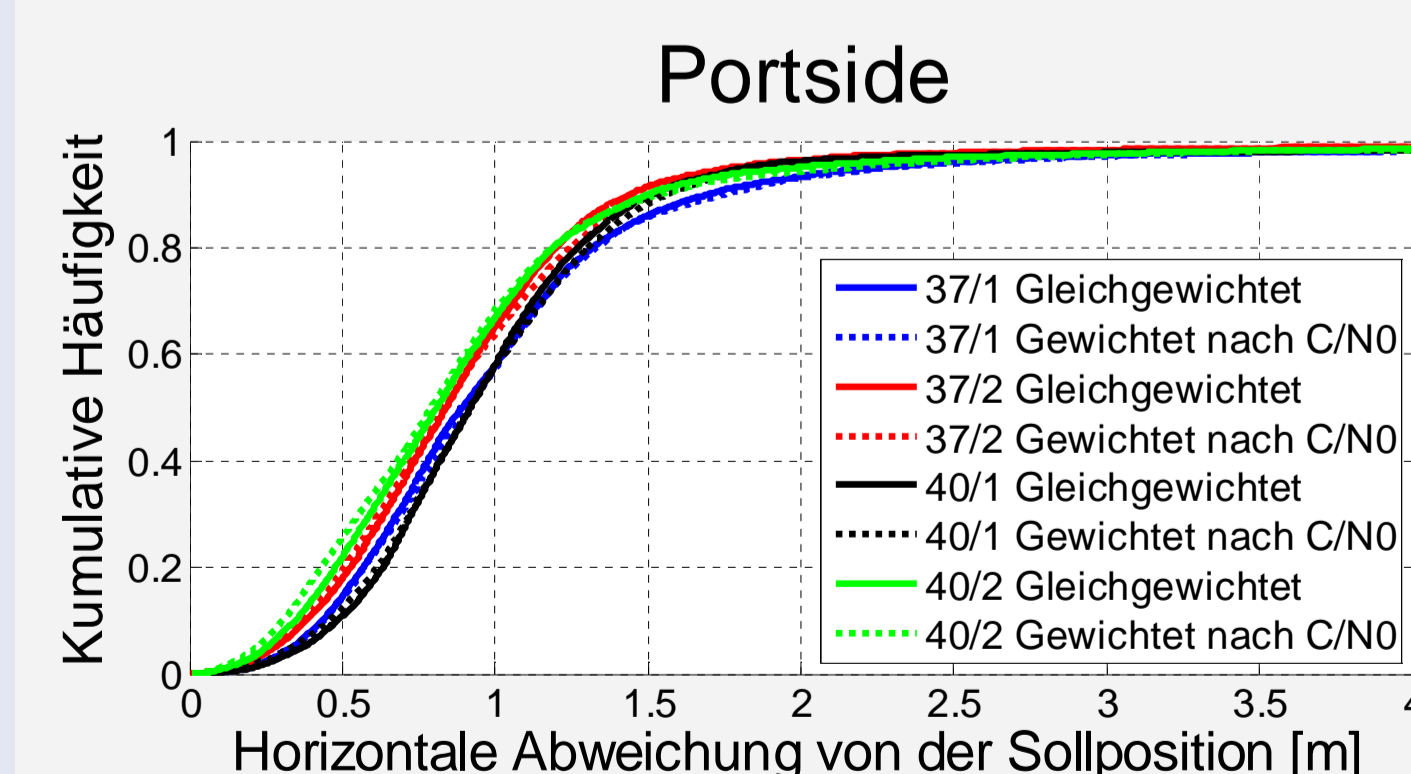
**Fig.7** PSL-Trajektorie (Portside 37/2)



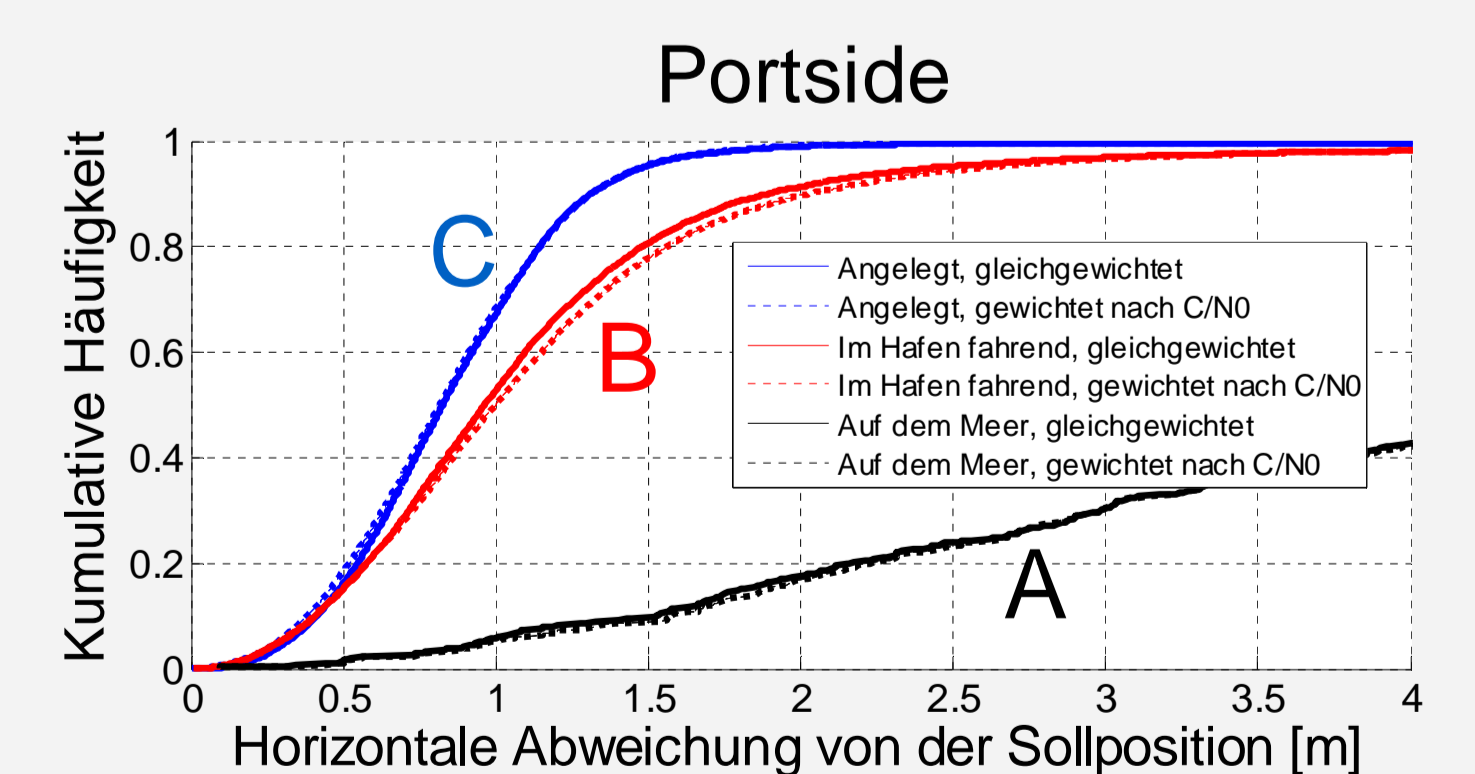
**Fig.8** Abweichungen von Sollposition (Portside 37/2)

Genauigkeit:

- Solltrajektorie aus relativer Positionierung mit GPS-Trägerphasenbeobachtung
- Mit PSL-Positionierung in allen Sessions etwa gleiche Genauigkeit erreicht
- Verschiedene Beobachtungsgewichtungen haben kaum Einfluss auf Genauigkeit
- In 60 % aller Epochen weicht PSL-Positionierung der Portside Antenna weniger als 1 m von Sollposition ab, in 90 % weniger als 1,5 m
- In statischer Situation ist Positionierung genauer als während der Fahrt
- Auf Ostsee niedrigere Positionierungsgenauigkeit wegen ungünstiger Geometrie



**Fig.9** Kumulative Häufigkeit der Abweichung (verschiedene Sessions)



**Fig.10** Kumulative Häufigkeit der Abweichung (verschiedene Gebiete)

## Referenzen

P. Alpers (2014): Analyse der GNSS- und Pseudolite-Daten der SEA GATE Infrastruktur. Bachelorarbeit. Unveröffentlicht. Institut für Erdmessung