

---

# ALEGRO

***Aufbau eines lokalen maritimen Ergänzungssystems zur  
Unterstützung hochpräziser Galileo-Anwendungen und –  
Dienste im Forschungshafen Rostock***



## Technical Note

**Messkampagne 30.01.-02.02.2007**

**„Positionsverfügbarkeit und -Qualität“**

Author: Dr. S. M. Schlüter 19.12.2008  
A. Hirrle

Proved  
by WP leader:  
by Project leader:

Version: 2.0

Document-ID: ALEGRO-TN-MK1-V02-07-  
Positionsverfuegbarkeit\_und\_Qualitaet.doc

Pages: 65



Institute of Communications  
and Navigation

**Änderungsbericht:**

Version	Datum	Seiten	Status	Gez. APL	Gez. PL
1.0	12.07.2007	all	Issue 1 (Draft)		
2.0	17.07.2007	all	First Revision		

## Inhalt

<b>1. Einführung</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Datenbasis</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1. Nomenklatur</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2. Verwendete Dateien</b> .....	<b>13</b>
2.2.1. Referenzstation.....	14
2.2.2. Rover .....	14
<b>2.3. Koordinaten der Referenzstation</b> .....	<b>15</b>
<b>3. Vollständigkeit der NMEA-Datensätze</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. Referenzstation</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. Rover</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Positionsverfügbarkeit</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. Referenzstation</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2. Rover</b> .....	<b>18</b>
<b>5. Positionsgenauigkeit</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1. Genauigkeit der Referenzdaten</b> .....	<b>21</b>
<b>5.2. Zeitlicher Verlauf der Positionsmoden des GRTK</b> .....	<b>24</b>
<b>5.3. Zeitlicher Verlauf der Positionsmoden des GGEG</b> .....	<b>25</b>
<b>5.4. Alter der RTK-Korrekturnachricht und Entfernung zur Referenz</b> .....	<b>27</b>
<b>5.5. Horizontale Positionsgenauigkeit</b> .....	<b>27</b>
5.5.1. Referenzstation (GBAS) .....	28
5.5.1.1. GRTK (Float).....	29
5.5.1.2. GRTK (Fix).....	29
5.5.1.3. GRTK Fix mit zeitnahen Korrekturinformationen .....	31
5.5.1.4. GNSS .....	32
5.5.1.5. GGEG.....	33
<b>5.6. Raum- und Zeitbezug der Horizontalen Positionsfehler der Roverdaten</b> .....	<b>33</b>
5.6.1. GRTK.....	34
5.6.2. GNSS.....	35
5.6.3. GGEG .....	36
<b>5.7. Positionsgenauigkeit und HDOP</b> .....	<b>37</b>
5.7.1. Referenzstation (GBAS) .....	37
5.7.2. Rover .....	38
5.7.2.1. GRTK .....	38
5.7.2.2. GNSS .....	39

5.7.2.3. GGEG.....	41
<b>5.8. Fehlerwahrscheinlichkeiten .....</b>	<b>42</b>
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>44</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>45</b>

## ***Tabellen***

Tab. 2-1: Zuordnung der Datei-Identifikatoren zu den Empfängertypen und Positionierungsverfahren ...	13
Tab. 2-2: NMEA-Dateien der GBAS-Referenzstation .....	14
Tab. 2-3: TTC/POS-Dateien der GBAS-Referenzstation .....	14
Tab. 2-4: NMEA-Dateien des GNSS-Rover.....	14
Tab. 2-5: TTC/POS-Dateien des GNSS-Rover.....	14
Tab. 2-6: NMEA-Dateien des GRTK-Rover.....	14
Tab. 2-7: TTC/POS-Dateien des GRTK-Rover.....	15
Tab. 2-8: NMEA-Dateien des GGEG-Rover .....	15
Tab. 2-9: TTC/POS-Dateien des GGEG-Rover .....	15
Tab. 2-10 Antennenstandort der Referenzstation (WGS84).....	15
Tab. 4-1: NMEA Position Fix Indikator .....	17
Tab. 4-2: Positionsverfügbarkeit an der Referenzstation .....	18
Tab. 4-3: Positionsverfügbarkeit am Rover .....	18
Tab. 4-4: Verfügbarkeit einer Positionslösung im RTK-Fix-Modus unterschieden nach der Entfernung zur Referenzstation.....	19
Tab. 5-1: Windgeschwindigkeiten der westlichen Ostsee im Messzeitraum.....	23

## **Abbildungen**

<b>Abb. 1-1: Standort der RTK-Referenzstation im Fährhafen Rostock.....</b>	<b>11</b>
<b>Abb. 4-1: RTK-Positionsverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zur Referenzstation .....</b>	<b>20</b>
<b>Abb. 5-1: Streuung der für die Referenzstation ermittelten TTC-Positionen um den Median.....</b>	<b>22</b>
<b>Abb. 5-2: Streuung der für die Referenzstation ermittelten horizontalen TTC-Positionen um den für alle Tage fixen Referenzwert .....</b>	<b>23</b>
<b>Abb. 5-3: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 30.01.2007.....</b>	<b>24</b>
<b>Abb. 5-4: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 31.01.2007.....</b>	<b>24</b>
<b>Abb. 5-5: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 01.02.2007.....</b>	<b>24</b>
<b>Abb. 5-6: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 02.02.2007.....</b>	<b>25</b>
<b>Abb. 5-7: Position und Abdeckungsbereich der EGNOS-Satelliten (Quelle: ESA) .....</b>	<b>25</b>
<b>Abb. 5-8: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 30.01.2007 .....</b>	<b>26</b>
<b>Abb. 5-9: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 31.01.2007 .....</b>	<b>26</b>
<b>Abb. 5-10: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 01.02.2007 .....</b>	<b>26</b>
<b>Abb. 5-11: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 02.02.2007 .....</b>	<b>26</b>
<b>Abb. 5-12: Alter (Mittel und STD) der RTK–Korrektur am Rover bezogen auf die Entfernung zur Referenzstation.....</b>	<b>27</b>
<b>Abb. 5-13: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GBAS .....</b>	<b>28</b>
<b>Abb. 5-14: Abweichung der RTK-Float-Lösungen von der Referenzposition .....</b>	<b>29</b>
<b>Abb. 5-15: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GRTK (RTK-Fix) .....</b>	<b>30</b>
<b>Abb. 5-16: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GRTK (RTK-Fix) bei der nur zeitnahe Korrekturinformationen verwendet wurden. ....</b>	<b>31</b>
<b>Abb. 5-17: Verteilung der horizontalen Genauigkeit des GNSS .....</b>	<b>32</b>
<b>Abb. 5-18: Verteilung der horizontalen Genauigkeit des GGEG.....</b>	<b>33</b>
<b>Abb. 5-19: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GRTK auf die Referenzposition.....</b>	<b>34</b>
<b>Abb. 5-20: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GNSS auf die Referenzposition.....</b>	<b>35</b>
<b>Abb. 5-21: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GGEG auf die Referenzposition .....</b>	<b>36</b>
<b>Abb. 5-22: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 30.01.2007 .....</b>	<b>37</b>
<b>Abb. 5-23: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 31.01.2007 .....</b>	<b>37</b>
<b>Abb. 5-24: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 01.02.2007 .....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 5-25: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 02.02.2007 .....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 5-26: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 30.01.2007 .....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 5-27: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 31.01.2007 .....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 5-28: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 01.02.2007 .....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 5-29: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 02.02.2007 .....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 5-30: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 30.01.2007 .....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 5-31: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 31.01.2007 .....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 5-32: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 01.02.2007 .....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 5-33: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 02.02.2007 .....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 5-34: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 30.01.2007.....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 5-35: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 31.01.2007 .....</b>	<b>41</b>

---

<b>Abb. 5-36: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 01.02.2007</b> .....	<b>41</b>
<b>Abb. 5-37: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 02.02.2007</b> .....	<b>42</b>
<b>Abb. 7-1: Wetterdaten Warnemünde für den 30.01.2007 (Quelle: <a href="http://www.wetterspiegel.de">www.wetterspiegel.de</a>)</b> .....	<b>64</b>
<b>Abb. 7-2: Wetterdaten Warnemünde für den 31.01.2007 (Quelle: <a href="http://www.wetterspiegel.de">www.wetterspiegel.de</a>)</b> .....	<b>64</b>
<b>Abb. 7-3: Wetterdaten Warnemünde für den 01.02.2007 (Quelle: <a href="http://www.wetterspiegel.de">www.wetterspiegel.de</a>)</b> .....	<b>65</b>
<b>Abb. 7-4: Wetterdaten Warnemünde für den 02.02.2007 (Quelle: <a href="http://www.wetterspiegel.de">www.wetterspiegel.de</a>)</b> .....	<b>65</b>

## **Abkürzungen**

AIS	- Shipborne Automatic Identification System
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
DGNSS	- Differential GNSS
DGPS	- Differential GPS
EGNOS	- European Geostationary Navigation Overlay Service
GBAS	- Ground Based Augmentation System
GLONASS	- GLObal NAVigation Satellite System
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GRAS	- Ground based Regional Augmentation System
GPS	- Global Positioning System
GPST	- Global Positioning System Time
HDOP	- Horizontal Dilution of Position
IALA	- International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	- International Maritime Organisation
IOW	- Institut für Ostseeforschung Warnemünde
NMEA	- National Marine Electronics Association
RTK	- Real Time Kinematik
SBAS	- Satellite Based Augmentation System
SOLAS	- International Convention for the Safety of Life at Sea
TN	- Technical Note



## Referenzen

- [Ref 1] TN GalileoNav „Amplitudenprozessor“
- [Ref 2] TN GalileoNav „Phasenpreprozessor“
- [Ref 3] TN ALEGRO „Plausibilitätsprüfung genutzter Quelldateien“
- [Ref 4] TN ALEGRO „Messaufbau und Messdurchführung“
- [Ref 5] TN ALEGRO „Bestimmung der Referenzposition und Referenztrajektorien mit Hilfe von TTC“
- [Ref 6] TN ALEGRO „Rohdatenqualität und –Verfügbarkeit“
- [Ref 7] Schlüter, S., Bauer, T., and Schuster, W. (2006): Anastasia - Critical analysis of space based navigation technologies usable for civil aviation
- [Ref 8] Gayraud, P., Arethens, J. (2005): Summary of the GIFT Project. Bangkok, Thailand
- [Ref 9] Landtag Mecklenburg-Vorpommern (2004): Bericht über die Wahrnehmung des Beobachterstatus der Ostseeparlamentarierkonferenz (BSPC) bei der Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes (HELCOM) durch den Landtag. Beschlussempfehlung u. Bericht des Umweltausschusses zu der Unterrichtung durch die Präsidentin des Landtages - Drucksache 4/824
- [Ref 10] Hofmann-Wellenhof, B., Legat, K., and Wieser, M. (2003): Navigation - Principles of Positioning and Guidance. Springer, Wien, New York
- [Ref 11] IMO (2003): Evaluation of GALILEO Performance against Maritime GNSS Requirements. Sub-Committee on Safty of Navigation, 49th session, Agenda item 13
- [Ref 12] Wild, U., Grünig, S., Hug, R. und Kummer, P. (2001): SWIPOS - Positionierungsdienste auf der Basis von Differentiellem GPS (DGPS) für Navigation, GIS-Datenerfassung und Vermessung, Bundesamt für Landestopographie, Schweiz
- [Ref 13] Rothacher, M. (2007): Satellitengeodäsie I. (Einführung in GPS), Vorlesungsskriptum Sommersemester 2007. Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München. Kapitel 12 Seite 158.
- [Ref 14] ESA (2006): EGNOS – The European Geostationary Navigation Overlay System – A cornerstone to Galileo, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, Netherlands

## **ALEGRO-Überblick**

Der Forschungshafen Rostock ist eine Initiative des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Er ist einerseits als Netzwerk der regionalen Industrie sowie von Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen des Landes zu verstehen und dient der Vorbereitung der wirtschaftlichen Verwertung von Galileo im maritimen Umfeld. Andererseits ist er die experimentelle Plattform, auf deren Grundlage die Validierung und Demonstration neuer Produkte und Verfahren zur genauen und sicheren Navigation sowohl zu Wasser als auch im Hafenumfeld unter realen Nutzungsbedingungen erfolgt.

Das Projekt ALEGRO ist eines der Initialprojekte des Forschungshafens Rostock und ist auf die Entwicklung und Demonstration von Ground Based Augmentation Systems (GBAS) für maritime „Safety of Life“-Anwendungen ausgerichtet. Diese werden gebraucht, um Anforderungen der International Maritime Organisation an die GNSS-Genauigkeit und Integrität im Hafenbereich zu erfüllen.

Das Projekt selbst ist in vier Phasen unterteilt:

### **Phase 1**

- Durchführung einer Initialmesskampagne zur Gewinnung von Messdaten unter maritimen Empfangsbedingungen und zur Bewertung der erreichbaren Genauigkeit und Verfügbarkeit von GNSS-basierter Ortung beim Einsatz verschiedener GNSS-Standardtechnologien (stand alone, mit EGNOS-Korrekturen, mit differentiellen Korrekturen einer Referenzstation).

### **Phase 2**

- Aufbau und Inbetriebnahme der Referenzstation im Forschungshafen Rostock
- Entwicklung von Algorithmen und Verfahren zur Bewertung von GNSS in Echtzeit (GNSS Performance Assessment Facility) und Implementierung dieser in die Processing Facility der Referenzstation im Hafen Rostock.

### **Phase 3**

- Weiterentwicklung der RTK-Verfahren durch Nutzung der mit Galileo möglichen multi-carrier Signalprozessierung und Qualifizierung der RTK-Verfahren in Hinblick auf zu erfüllende Integritätsanforderungen
- Stufenweiser Ausbau der Processing Facility der Referenzstation im Hafen Rostock inklusive Durchführung notwendiger Validierungstests.

### **Phase 4**

- Experimentelle Validierung der erweiterten RTK-Verfahren durch Vorbereitung und Durchführung von Messkampagnen in Bezug auf spezifische maritime Anwendungen.

Der folgende Bericht ordnet sich in Phase 1 ein und ist einer von 5 technischen Berichten, die sich entweder mit der Durchführung oder den Messergebnissen der Initialmesskampagne auseinandersetzen.

# 1. Einführung

Im Zeitraum vom 29.01.2007 bis zum 02.02.2007 wurde durch das DLR und im Rahmen des Projektes ALEGRO im Hafengebiet der Stadt Rostock eine GNSS-Messkampagne durchgeführt. Zielstellung der Aktivität war die Gewinnung von GNSS-Daten in einem maritimen Umfeld. In der Messkampagne wurden eine Referenzstation (Base) im Rostocker Fährhafen, sowie drei GNSS/EGNOS-Empfänger (Rover) auf dem Forschungsschiff „Prof. Albrecht Penck“ des Instituts für Ostseeforschung in Warnemünde (IOW) eingesetzt.



**Abb. 1-1: Standort der RTK-Referenzstation im Fährhafen Rostock**

Die Konfiguration der Empfänger erfolgte dabei so, dass jeweils unterschiedliche Verfahren zur Positionsbestimmung verwendet wurden:

1. Positionierung mit Code- u. Trägerphasenmessungen von GPS- und GLONASS,
2. Positionierung mit Codephasenmessungen des GPS in Kombination mit EGNOS, sowie
3. RTK-basierte Positionierung unter Einbeziehung einer lokalen Referenzstation im Hafen von Rostock.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Analyse von Positionsverfügbarkeit und -Qualität (Genauigkeit) der oben aufgeführten Empfänger bzw. Positionierungsverfahren zusammengefasst. Zielstellung dieses Berichts und der dahinter liegende Datenanalyse ist u. a. die Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Sind die verwendeten NMEA-Datensätze vollständig oder gibt es Datenlücken, die womöglich synchron auf mehreren Empfängern auftreten?

- Welche Positionierungsgenauigkeit wurde erreicht?
- Wie äußern sich Änderungen der DOPs in der Positionsgenauigkeit?
- Gibt es Ausreißer in den Daten und wenn vorhanden, gibt es für die Ausreißer eine Erklärung aus der Qualität der mit TTC prozessierten Daten und/oder aus der Satellitenkonstellation und/oder aus der Rohdatenqualität?
- Wie verhalten sich die Fehlerbudgets der vier Empfänger des Rovers zueinander? Treten Ausreißer synchronisiert auf?
- Wie verhalten sich die Fehlerbudgets der vier Empfänger des Rovers zum Fehlerbudget der Referenzstation? Treten Ausreißer synchronisiert auf?

Genauere Informationen zum Messaufbau, Spezifizierung der Hard- u. Software und der Messdurchführung finden sich in [Ref 4].

## 2. Datenbasis

Die Datenbasis für die hier durchgeführten Untersuchungen bilden, die während der Messkampagne vom 30.01.2007-02.02.2007 in der Referenzstation (Messbus) und an Bord des Forschungsschiffes „Prof. Albrecht Penck“ aufgezeichneten NMEA-Dateien, sowie aus den aufgezeichneten RINEX-Dateien durch Nachprozessierung abgeleitete TTC-Dateien. Im Folgenden werden die für diese Analyse verwendeten Daten, Dateien und Nomenklaturen kurz beschrieben. Untersuchungen zur Qualität der für diese Analyse verwendeten Roh- und Referenzdaten finden sich in [Ref 4] und [Ref 5]).

### 2.1. Nomenklatur

Wie bereits in der Einführung erwähnt wurden in der Messkampagne vier unterschiedliche Verfahren angewendet, um Positionslösungen zu generieren:

1. **RTK:** Ortung basierend auf Real-Time-Kinematik-Verfahren mit einer lokalen Referenzstation im Fährhafen Rostock;
2. **GNS:** Carrier-Smoothed GPS –Navigation basierend auf der Kombination von Kode- u. Trägersignalen;
3. **GEG:** Reine Code-basierte GPS-Navigation unterstützt durch Ergänzungsinformationen des EGNOS;
4. **TTC:** In der Post-Prozessierung mit Trimble Total Control (TTC) Version 2.73 erzeugte Positionsdaten.

Um eine Zuordnung der im Projekt generierten Dateien zu den Empfängern, Positionierungsverfahren und Dateitypen (NMEA, TTC) herzustellen, wurde die in Tab. 2-1 dargestellte Nomenklatur genutzt.

**Tab. 2-1: Zuordnung der Datei-Identifikatoren zu den Empfängertypen und Positionierungsverfahren**

Empfängername	Aufgabe	Positionierungsverfahren	NMEA/TTC-Identifikator
<b>GBAS</b>	Referenz	GNS/TTC	lcbn/GBAS
<b>GNSS</b>	Rover	GNS/TTC	lcsn/GNSS
<b>GRTK</b>	Rover	RTK/TTC	lcrn/GRTK
<b>GGEG</b>	Rover	GEG/TTC	lcen/GGEG

### 2.2. Verwendete Dateien

In den Folgenden Unterabschnitten finden sich Angaben zu den verwendeten Dateien und den Zeiträumen, für die Daten aus der Messkampagne zur Auswertung bereit stehen.

**2.2.1. GBAS-Referenzstation**

**Tab. 2-2: NMEA-Dateien der GBAS-Referenzstation**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	lcbn070130.##b; ## = 00, ..., 23	0:00-24:00 UT	1
31.01.2007	lcbn070131.##b; ## = 00, ..., 23	0:00-24:00 UT	1
01.02.2007	lcbn070201.##b; ## = 00, ..., 23	0:00-24:00 UT	1
02.02.2007	lcbn070202.##b; ## = 00, ..., 23	0:00-24:00 UT	1

**Tab. 2-3: TTC/POS-Dateien der GBAS-Referenzstation**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	GBAS030R.POS	7:05-14:59 UT	1
31.01.2007	GBAS031R.POS	7:00-15:00 UT	1
01.02.2007	GBAS032R.POS	9:00-15:00 UT	1
02.02.2007	GBAS033R.POS	7:41-11:12 UT	1

**2.2.2. Rover**

**Tab. 2-4: NMEA-Dateien des GNSS-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	lcsn070130.##b; ## = 06, ..., 13	6:00-13:00 UT	1
31.01.2007	lcsn070131.##b; ## = 07, ..., 13	7:00-13:00 UT	1
01.02.2007	lcsn070201.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1
02.02.2007	lcsn070202.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1

**Tab. 2-5: TTC/POS-Dateien des GNSS-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	GNSS030R.POS	10:00-13:30 UT	1
31.01.2007	GNSS031R.POS	7:03-13:31 UT	1
01.02.2007	GNSS032R.POS	6:49-14:28 UT	1
02.02.2007	GNSS033R.POS	6:50-14:10 UT	1

**Tab. 2-6: NMEA-Dateien des GRTK-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	lcrn070130.##b; ## = 06, ..., 13	6:00-13:00 UT	1
31.01.2007	lcrn070131.##b; ## = 07, ..., 13	7:00-13:00 UT	1
01.02.2007	lcrn070201.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1
02.02.2007	lcrn070202.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1

**Tab. 2-7: TTC/POS-Dateien des GRTK-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	GRTK030R.POS	10:00-13.30 UT	1
31.01.2007	GRTK031R.POS	7:04-13:31 UT	1
01.02.2007	GRTK032R.POS	6:49-14:28 UT	1
02.02.2007	GRTK033R.POS	6:51-14:10 UT	1

**Tab. 2-8: NMEA-Dateien des GGEG-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	lcen070130.##b; ## = 06, ..., 13	6:00-13:00 UT	1
31.01.2007	lcen070131.##b; ## = 07, ..., 13	7:00-13:00 UT	1
01.02.2007	lcen070201.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1
02.02.2007	lcen070202.##b; ## = 06, ..., 14	6:00-14:00 UT	1

**Tab. 2-9: TTC/POS-Dateien des GGEG-Rover**

Datum	File	Messzeitraum	Zeitliche Auflösung/Sek.
30.01.2007	GGEG030R.POS	10:00-13.30 UT	1
31.01.2007	GGEG031R.POS	7:04-13:31 UT	1
01.02.2007	GGEG032R.POS	6:50-14:28 UT	1
02.02.2007	GGEG033R.POS	6:51-14:10 UT	1

### 2.3. Koordinaten der Referenzstation

Aus den Messdaten des GBAS-Referenzstation im Fährhafen Rostock (s. Abb. 1-1) wurden die folgenden mittleren Koordinaten in der Nachprozessierung bestimmt [Ref 5]:

**Tab. 2-10 Antennenstandort der Referenzstation (WGS84)**

Geogr. Breite [°N]	Geogr. Länge [°E]	Höhe [m]
54.15358	12.09958	44.842
X [m]	Y [m]	Z [m]
3660237.80	784658.96	5146809.46

Diese Koordinaten wurden in der späteren Analyse verwendet, um den Abstand zwischen Referenzstation und Rover zu bestimmen (s. z. B. Abschn. 0 )

## **3. Vollständigkeit der NMEA-Datensätze**

Detaillierte Untersuchungen zur Vollständigkeit der in der ALEGRO-Messkampagne verwendeten Quelldateien findet sich in [Ref 3]. Die Ergebnisse bzgl. der NMEA-Datensätze aus [Ref 3], die die für diese TN wichtigen Positionsinformationen enthalten, sind in den folgenden Abschnitten lediglich kurz zusammengefasst.

### **3.1. Referenzstation**

Die NMEA-Datenverfügbarkeit des GBAS-Empfängers liegt an allen Tagen über 99 %, wobei bei Verfügbarkeit zu 100% eine Positionsbestimmung erfolgt. Datenlücken korrelieren auf den aufeinanderfolgenden Tagen zeitlich nicht und beschränken sich bis auf zwei Ausnahmen auf wenige Sekunden.

### **3.2. Rover**

Für die Empfänger GGEG und GNSS gibt es nur am 31.01. und 02.02. punktuelle Ausfälle, die weder zeitlich an aufeinander folgenden Tagen korrelieren noch parallel auf beiden Empfängern auftreten. Im Fall der Datenverfügbarkeit erfolgt zu 100 % eine Positionsbestimmung. Für den Rover RTK werden keine Datenlücken detektiert. Allerdings erfolgt nicht zu allen Zeitpunkten eine RTK-Lösung. Insbesondere am 01.02. wird eine Position in drei von vier Zeitpunkten im Stand-Alone-Modus bestimmt.



## 4. Positionsverfügbarkeit

Der erste Ansatz für die Auswertung der Positionslösung der drei oben aufgeführten Ortungsverfahren ist die Untersuchung, wie oft, bezogen auf den Messzeitraum, Positionslösungen vorlagen. Aus diesen Untersuchungen lassen sich erste Rückschlüsse auf die „Kontinuität“ (s. [Ref 11]) als auch Hinweise auf mögliche Störungen gewinnen. Man geht dabei davon aus, dass im ungestörten Fall<sup>1</sup> eine Positionierung mit GNSS und EGNOS innerhalb des Untersuchungsgebietes immer möglich sein müsste, da neben der Satellitenverbindung keine weiteren Datenverbindungen benötigt werden. Im Fall der RTK-basierten Positionierung ergeben sich jedoch Einschränkungen durch die Verfügbarkeit der benötigten Kommunikationsverbindung zwischen Rover und Referenzstation. Hier wird die Positionsverfügbarkeit durch die Sendeleistung der Referenzstation und innerhalb des Sendebereichs durch Abschirmungseffekte der UHF-Verbindung (Gebäude, Schiffe) stark beeinflusst. Ein Indiz dafür, dass eine RTK-Positionslösung auf dem Rover aufgrund von Kommunikationsproblemen nicht möglich ist, lässt sich aus dem Alter der Korrekturnachricht ableiten.

Die Verfügbarkeit einer Positionslösung wird an dem in den NMEA-Nachrichten enthaltenen Indikator für die Positionslösung (Position Fix Indikator) festgemacht. Je nach Art der Positionslösung (GNSS, RTK, EGNOS) werden vom Empfänger die in Tab. 4-1 aufgelisteten Werten gesetzt.

**Tab. 4-1: NMEA Position Fix Indikator**

Wert	Bedeutung	Erläuterung
0	No Fix	Keine Positionslösung möglich
1	Single Point	GNSS Code-Phasenlösung <sup>2</sup>
2	DGPS	Differentielles GNSS, einschließlich EGNOS u. WAAS
3	GPS PPS Mode	GPS Positionierung im „Precise Positioning“-Modus
4	RTK Fix	RTK mit gelösten ganzzahligen Phasenmehrdeutigkeiten
5	RTK Float	RTK mit Abschätzung der Phasenmehrdeutigkeiten

### 4.1. Referenzstation

Wie bereits in Abschn. 3.1 aufgeführt und [Ref 3] entnommen, liegt die Positionsverfügbarkeit beim GBAS-Empfänger der Referenzstation an allen Tagen bei 100%. Eine unabhängig von [Ref 3] durchgeführte Datenanalyse (s. Tab. 4-2) bestätigte dieses Ergebnis.

<sup>1</sup> Ungestört bedeutet hier, dass die GNSS- bzw. EGNOS-Signale ohne Beeinträchtigung, durch z. B. Abschattung, empfangen werden.

<sup>2</sup> Festgelegt durch die Empfängerkonfiguration s. [Ref 4].

**Tab. 4-2: Positionsverfügbarkeit an der Referenzstation**

Datum	GBAS Positionsverfügbarkeit / %
30-01-2007	100.000
31-01-2007	100.000
01-02-2007	100.000
02-01-2007	100.000

## 4.2. Rover

Tab. 4-3 zeigt die für den jeweiligen Messtag ermittelte Positionsverfügbarkeit der drei Rover-Empfänger (Datenlücken in der Aufzeichnung wurden von der Auswertung ausgenommen, s. Kap.3). Die Tatsache, dass Positionslösungen an allen Tagen auf allen Empfängern zu 100% verfügbar waren, zeigt das es auf dem Rover keinerlei umgebungsbedingte Situationen gab, in denen Abschattung, Mehrwegeausbreitung oder atmosphärische Fehler eine Positionierung generell unmöglich machten<sup>3</sup>.

**Tab. 4-3: Positionsverfügbarkeit am Rover**

Datum	Positionsverfügbarkeit / %		
	GRTK	GNSS	GEGE
30-01-2007	100.000	100.000	100.000
31-01-2007	100.000	100.000	100.000
01-02-2007	100.000	100.000	100.000
02-02-2007	100.000	100.000	100.000

Während eine Stand-Alone-Positionslösung lediglich den ungestörten Empfang von zumindest vier GNSS-Signalen voraussetzt, benötigen differentielle Verfahren eine zusätzliche Kommunikationsverbindung für die Übertragung der Korrektursignale. Störungen solcher Verbindungen sorgen dafür, dass der Empfänger aus dem differentiellen Modus (EGNOS bzw. RTK) in den Stand-Alone-Modus (auch Single-Point-Modus) übergeht.

Eine Überprüfung der Messdaten, inwieweit EGNOS-Korrekturdaten für den GEGE zur Verfügung standen, zeigte, dass dies an allen Messtagen und zu jeder Zeit der Fall war (vergleiche auch Abschn. 5.3). Im Falle des GRTK der für eine RTK-Fix-Lösung Korrekturdaten der Referenzstation benötigt, die lediglich mit einer Leistung von 0.5W sendet und z. T. von Gebäuden und Schiffen abgeschattet wird, ergibt sich ein anderes Bild. Tab. 4-4 zeigt die Anzahl der Positionslösungen im RTK-Fix-Modus in Prozent, bezogen auf die Gesamtzahl der Messungen. In der Tabelle werden folgende Fälle unterschieden:

1. Anzahl der RTK-Positionslösungen für den gesamten Messtag,
2. Anzahl der RTK-Positionslösungen im Umkreis von 5km um die Referenzstation,
3. Anzahl der RTK-Positionslösungen im Umkreis von 10km um die Referenzstation.

<sup>3</sup> Dies bedeutet natürlich nicht, dass es nicht zu Verlusten einzelner Signale kam.

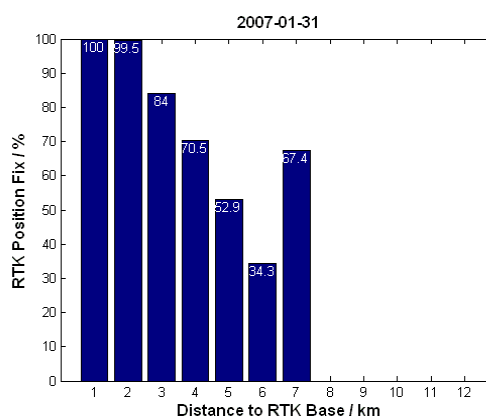
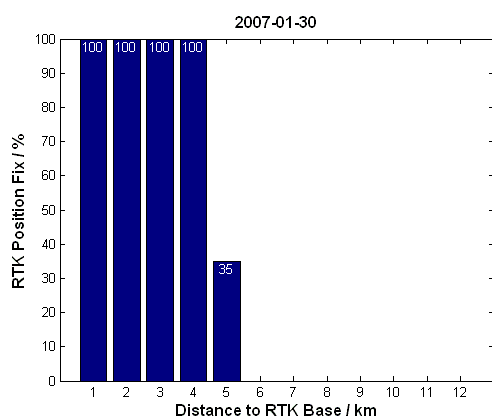
Der Vergleich aller drei Werte in Tab. 4-4 für den jeweiligen Tag zeigt deutlich die Zunahme der Anzahl der Positions-Lösungen im RTK-Fix-Mode, je näher sich der Rover an der Referenzstation befand. Unterschiede der Werte zwischen den einzelnen Tagen ergeben sich dabei aus den unterschiedlichen Kursen, die gefahren wurden, sowie den unterschiedlichen Abschattungsbedingungen durch andere Schiffe am jeweiligen Tag.

**Tab. 4-4: Verfügbarkeit einer Positionslösung im RTK-Fix-Modus unterschieden nach der Entfernung zur Referenzstation**

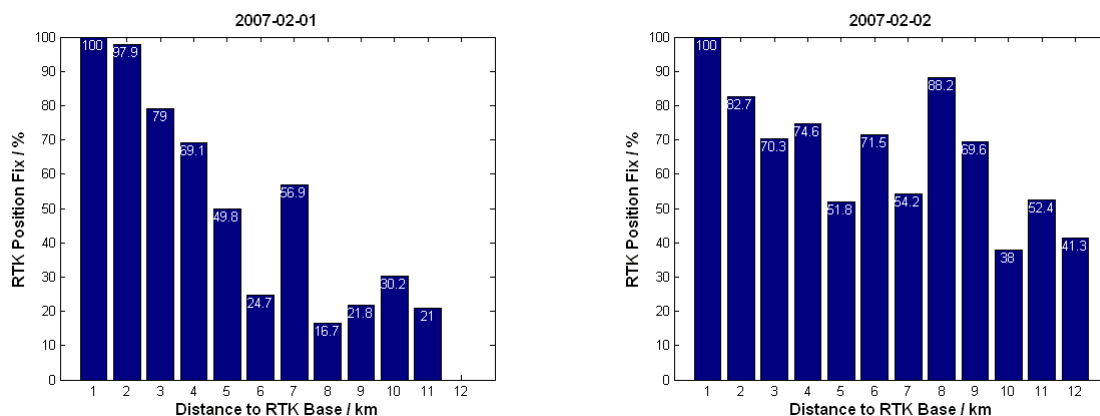
Datum	Positionsverfügbarkeit / %		
	GRTK (RTK Fix-Mode)		
Entfernung zur Referenzstation	ohne Einschränkung	<= 10km	<=5km
30-01-2007	93.936 <sup>4</sup>	-	-
31-01-2007	75.971	(75.971)	(85.799)
01-02-2007	30.570	(68.264)	(82.294)
02-02-2007	51.866	(65.672)	(76.303)

Untersetzt wird diese These durch den in Abb. 4-1 dargestellten Zusammenhang zwischen der Positionsverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Distanz vom Rover zur Referenzstation. Berechnet nun mit einer Auflösung von einem Kilometer. Die Abbildungen zeigen deutlich, dass im Umfeld von einem Kilometer um die Referenzstation RTK-Fix zu allen Zeiten erreicht werden konnte und die Anzahl der Fix-Lösungen dann im Trend mit zunehmender Entfernung abnimmt.

Es sei außerdem angemerkt, dass über einem Radius von 12 km keine RTK-Fix-Lösungen auftraten. Die vorhandene Sendeleistung begrenzte somit die RTK-Positionierung im Umfeld des Rostocker Hafens auf diese Maximalentfernung.



<sup>4</sup> Im Radius größer als 5 km um die Referenzstation wurde an diesem Tag nicht gemessen



**Abb. 4-1: RTK-Positionsverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zur Referenzstation im Empfangsbereich (12 km)**

## 5. Positionsgenauigkeit

Betrachtet man die in der ALEGRO-Messkampagne angewandten Ortungsverfahren bzgl. der zu erwartenden Genauigkeit, so ergibt sich aus der Literatur folgendes Bild:

- Bei RTK-Verfahren unterscheidet man generell zwei Typen von Positionslösungen (s. z. B. [Ref 10], ):
  1. Real Time Kinematic (RTK) Float Positions; typische Genauigkeit bei kinematischen Anwendungen etwa 1.0 bis 2.0 Meter [Ref 13],
  2. Real Time Kinematic (RTK) Fixed Solutions; typische Genauigkeit etwa 1 - 5 Zentimeter).
- Die GNSS-Lösung wurde erreicht durch Kombination von GPS und GLONASS und durch Aktivierung von „Carrier-Smoothing“ im Empfänger. Bei diesem Verfahren wird das vor allem durch Mehrwegeeffekte hohe Code-Rauschen durch die Nutzung von Phasenmessungen zu einem Großteil kompensiert. Typische Genauigkeiten liegen im Meter-Bereich.
- Aktivierung des WAAS/EGNOS-Mode; typische erwartete Genauigkeit mit aktiviertem WAAS/EGNOS etwa 1- 3 Meter [Ref 14].

Um eine Bewertung der mit den unterschiedlichen Verfahren erreichten Positionsgenauigkeit vornehmen zu können, müssen hochgenaue Referenzpositionen bestimmt werden. Erreicht wurde dies durch die Post-Prozessierung aller während der Messkampagne aufgezeichneten Empfängerrohdaten. Das Ergebnis dieser Post-Prozessierung sind die sogenannten TTC-Dateien (s. Abschn. 2.2), die für jeden Messzeitpunkt WGS84-Koordinaten und aus dem Lösungsverfahren gewonnene RMS-Abschätzungen bzgl. der Koordinaten-Qualität enthalten. Eine detaillierte Beschreibung der Erzeugung von Referenzdaten einschließlich Aussagen über deren Qualität findet sich in [Ref 5].

Für die Bewertung der Positionsgenauigkeit und die Interpretation der Daten ist eine statistische Abschätzung der verwendeten Referenzpositionen unerlässlich. Da in den TTC-Dateien keine Aussagen über die absolute und insbesondere horizontale Genauigkeit gegeben sind, beginnt der im Folgenden durchgeführte Vergleich der unterschiedlichen Positionslösungen mit den Referenzdaten mit einer Abschätzung der Qualität der verwendeten Referenzdaten. Diese Abschätzung erfolgt dabei ausschließlich auf Grundlage der Daten der Referenzstation, da ihre Position als statisch angenommen werden kann.

### 5.1. Genauigkeit der Referenzdaten

Um eine Abschätzung zu bekommen, welche Genauigkeit die durch Post-Prozessierung bestimmte Positionen aufweisen, wurden die TTC-Daten der als statisch angenommenen Referenzstation genauer analysiert. Untersucht wurden dabei zwei Fragestellungen:

1. Welche Schwankungen bzgl. der Position im Raum (Ortsvektor) zeigen sich in den Daten der Referenzstation?
2. Welche horizontalen Positionsabweichungen bezogen auf den entsprechenden Tagesmittelwert zeigen sich in den Daten der Referenzstation?

Zur Beantwortung der ersten Fragestellung wurden die Schwankungen des 3D-Ortsvektors der Stationskoordinaten berechnet und auf den Median-Wert bezogen. Die Ergebnisse für die einzelnen Tage sind in Abb. 5-1 dargestellt, in der neben der Grafik auch die Standardabweichungen ( $\sigma$ ,  $2\sigma$  und  $3\sigma$ ), die maximal aufgetretene Abweichung des entsprechenden Tages ( $\max|\text{Dev}|$ ) als auch die absolute Differenz zwischen Median- und arithmetischem Mittelwert ( $|\text{Mean-Median}|^5$ ) aufgeführt sind.

Ein Vergleich der Grafiken zeigt eine deutliche Variation der Position der Referenzstation an den unterschiedlichen Tagen. Während am 30.01. und 02.02. sowohl die  $3\sigma$ -Standardabweichung als

<sup>5</sup> Eine große Differenz zwischen Mittelwert und Median ist ein Hinweis auf Ausreißer in den Daten

auch die Maximalwerte in der Abweichung deutlich unter 10 cm lagen, wurden am 31.01  $3\sigma$ -Standardabweichungen von 70 cm und am 01.01.  $3\sigma$ -Standardabweichungen von 26 cm berechnet (s. Abb. 5-1).

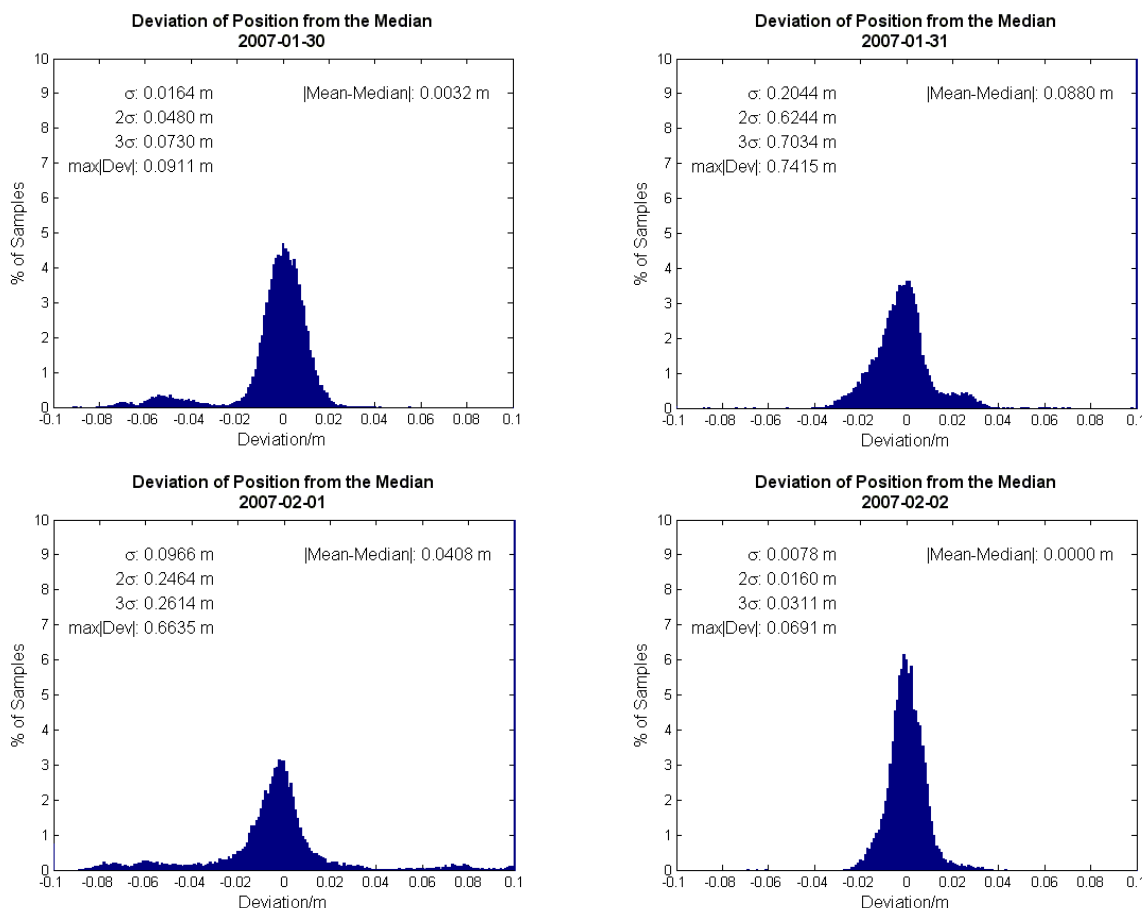


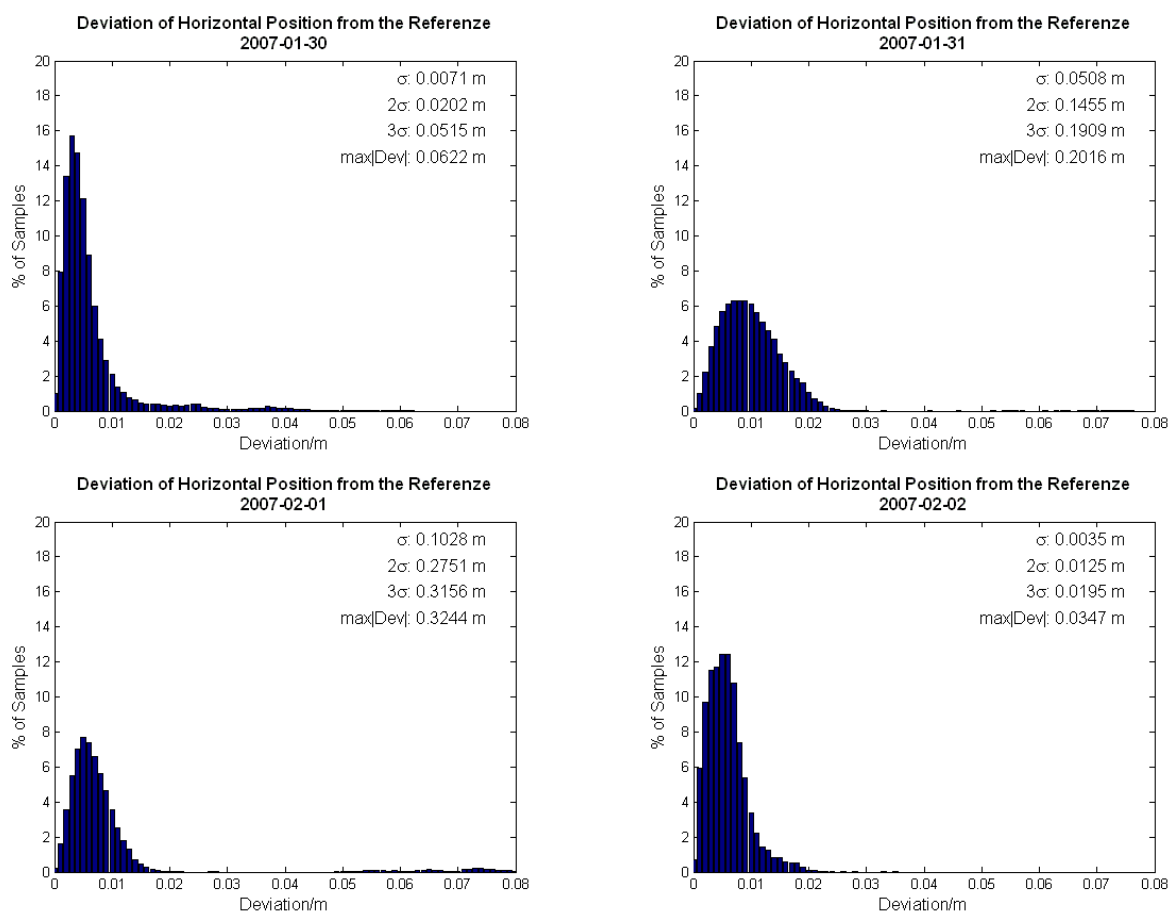
Abb. 5-1: Streuung der für die Referenzstation ermittelten TTC-Positionen um den Median

Nimmt man nun an, dass keine oder vernachlässigbar kleine systematische Fehler in den Ergebnissen der Post-Prozessierung auftreten, so dass die Tagesmittel die „wahre“ Position der Referenzstation repräsentieren und berechnet die horizontale Positionsabweichung im Bezug zu diesen Werten, führt dies zu den in Abb. 5-2 dargestellten Werten. In dort aufgeführten Einzelabbildungen zeigen sich innerhalb der Messperiode  $3\sigma$ -Standardabweichungen zwischen 2cm und 32 cm und Maximalabweichungen zwischen 5 cm und 32 cm, wobei die jeweils höchsten Fehler wiederum am 31.01 und 01.02. auftreten. Die Tatsache, dass die in Abb. 5-1 auftretenden Fehler kleiner sind als die in Abb. 5-2, ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die in der GNSS-Positionierung auftretenden Höhenfehler aufgrund der Satellitengeometrie zwei- bis dreimal höher sind als die horizontalen Fehler.

Die TTC-Analyse der Roverdaten beruht auf einer Post-Prozessierung, ähnlich wie sie für die Referenzstation durchgeführt wurde (vergl. [Ref 5]). Es wird daher davon ausgegangen, dass die prozessierten Referenztrajektorien des Rovers eine ähnliche, aber auf keinen Fall bessere Genauigkeit aufweisen, da bei der Bestimmung der Referenzkoordinaten im Gegensatz zum Rover keine Positionsänderungen des Antennenphasenzentrums berücksichtigt werden müssen. Dies ist bei allen folgenden Analysen und Diskussionen bzgl. der Positionsgenauigkeit zu berücksichtigen ist.

Was an dieser Stelle bleibt, ist natürlich noch die Frage, warum am 31.01 und 01.01 so starke Schwankungen in der Positionsrechnung auftreten. Eine einfache Möglichkeit, auf die hier kurz eingegangen werden soll, sind Schwankungen des als statisch angesehenen Phasenzentrums der Referenzantenne. Die Antenne der Referenzstation war auf dem Dach des Messbusses befestigt.

Dieser war zum Einen weder abgestu'tzt und zum Anderen aufgrund des Fahrzeugtyps und der exponierten Position auf der Pier sehr windanfa'ngig.



**Abb. 5-2: Streuung der fu'ur die Referenzstation ermittelten horizontalen TTC-Positionen um den fu'ur alle Tage fixen Referenzwert**

Fu'ur dem Messzeitraum ergeben sich die in Tab. 5-1 aufgefuehrtten Tageswerte fu'ur die Windgeschwindigkeiten.

**Tab. 5-1: Windgeschwindigkeiten der westlichen Ostsee im Messzeitraum**

Datum	Windstaerke/Bft (Quelle: ALEGRO-Messprotokolle)	Windstaerke/Bft (Quelle: <a href="http://www.wetterspiegel.de">www.wetterspiegel.de</a> <sup>6</sup> )
30.01.2007	5	6 (Boehn 7) WNW
31.01.2007	8, Boehn 10	5 (Boehn 8) WSW
01.02.2007	4-5	5 (Boehn 6) NW
02.02.2007	2-3	4 (Boehn 6) WSW

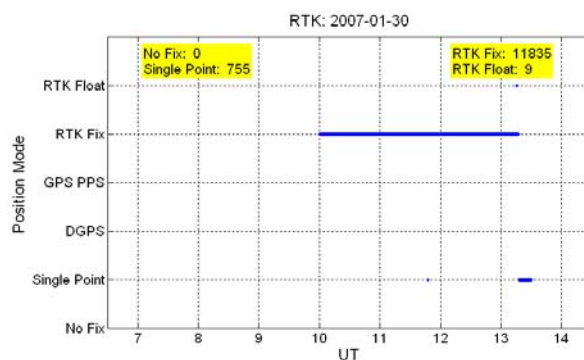
Aus dem Vergleich der Windstaerken und der Streuung in den TTC-Daten la'sst sich jedoch keine Beziehung ableiten. Es zeigt sich lediglich, dass der Tag mit den geringsten Windgeschwindigkeiten auch die geringste Streuung aufweist. Da neben der Windgeschwindigkeit auch andere Umgebungs-

<sup>6</sup> vergl. Abb. 7-1, Abb. 7-2, Abb. 7-3, Abb. 7-4 im Anhang

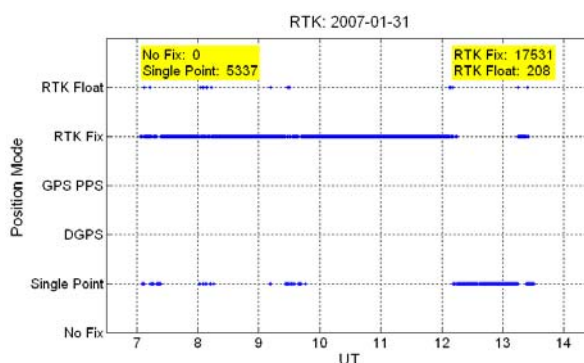
faktoren eine Rolle spielen (so war der Bus auf der Ostseite im Windschutz eines hohen Holzstapels, der jedoch während der Messkampagne abgetragen wurde), lassen sich diese Einflüsse im nachhinein leider nicht mehr quantitativ erfassen und zuordnen.

### 5.2. Zeitlicher Verlauf der Positionsmoden des GRTK

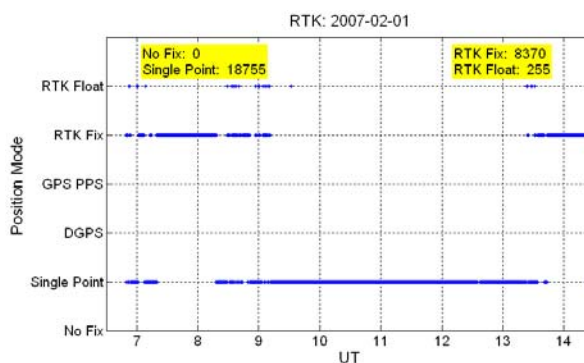
Wie bereits in Abschn. 3.2 erwähnt, gibt ein Empfänger, der im RTK-Modus betrieben wird, RTK-Fix-, RTK-Float- und Single-Point-Positionen in unterschiedlicher Qualität aus. In welchem Modus der Empfänger arbeitet, hängt im Wesentlichen davon ab, ob zeitnahe Korrekturdaten, also Korrekturdaten die nur wenige Sekunden alt sind, empfangen werden können. In Abb. 5-3, Abb. 5-4, Abb. 5-5 und Abb. 5-6 ist der verwendete Positionierungs-Modus, wie er in den NMEA-Daten abgebildet ist, für den entsprechenden Messtag über der Zeit aufgetragen.



**Abb. 5-3: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 30.01.2007**

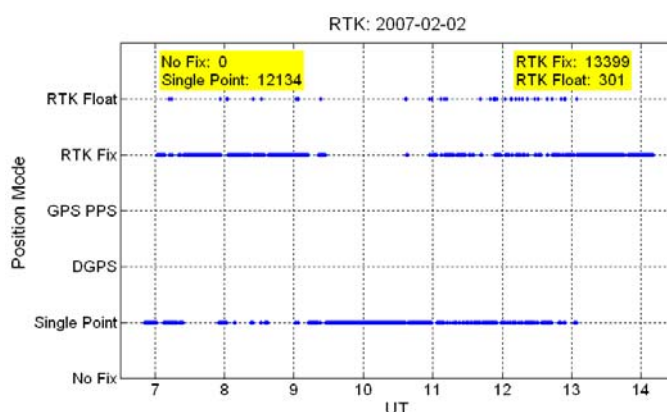


**Abb. 5-4: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 31.01.2007**



**Abb. 5-5: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 01.02.2007**



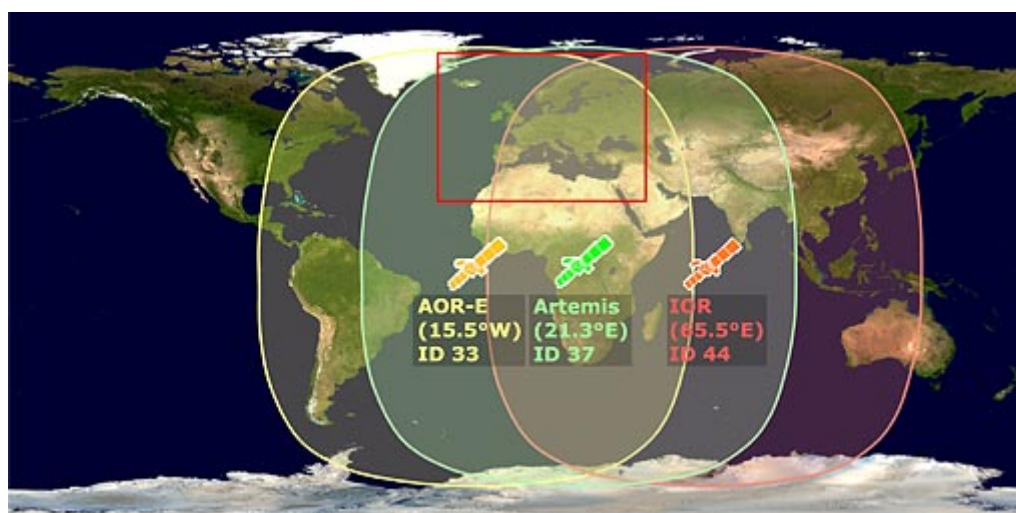


**Abb. 5-6: Positions-Moden des GRTK bei der Messfahrt am 02.02.2007**

Die Grafiken dokumentieren zum Einen die bereits erwähnte Tatsache, dass eine Positionierung für den GRTK jederzeit möglich war, zum Anderen zeigen sie das Float-Lösungen nur kurzzeitig beim Übergang zwischen Single-Point- und RTK-Fix-Lösung gebildet wurden.

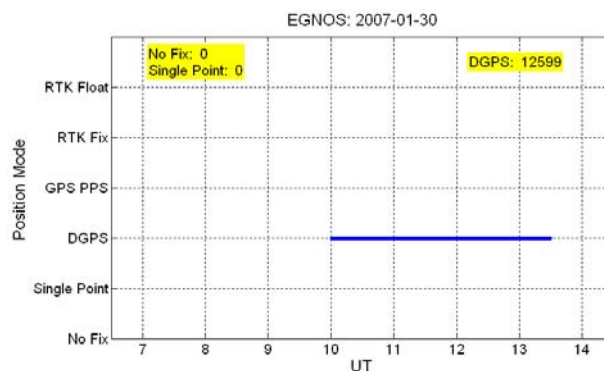
### 5.3. Zeitlicher Verlauf der Positionsmoden des GGEG

Der GGEG-Empfänger gibt EGNOS-basierte DGPS- und Single-Point-Positionen mit den entsprechenden Positionsgenauigkeiten aus. In welchem Modus der Empfänger arbeitet hängt, wie beim GRTK, im Wesentlichen davon ab, ob Korrekturdaten empfangen werden können. Da die geostationären Satelliten, über die die EGNOS-Korrekturen übertragen werden (s. Abb. 5-7), sich aus Rostocker Sicht im Süden und dort sehr tief (ca. 28°) über dem Horizont befinden, konnten Einbußen in der Positionsgenauigkeit aufgrund von Unterbrechungen des Übertragungsweges der EGNOS-Korrekturen nicht ausgeschlossen werden.

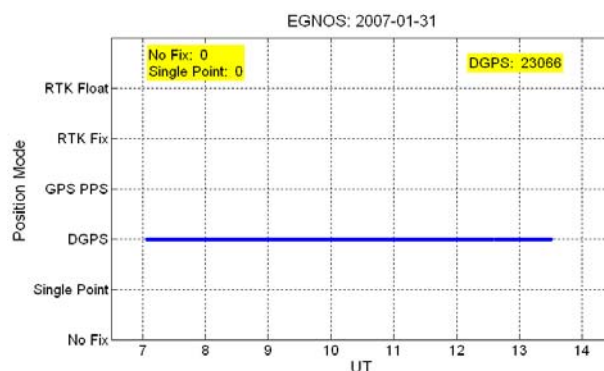


**Abb. 5-7: Position und Abdeckungsbereich der EGNOS-Satelliten (Quelle: ESA)**

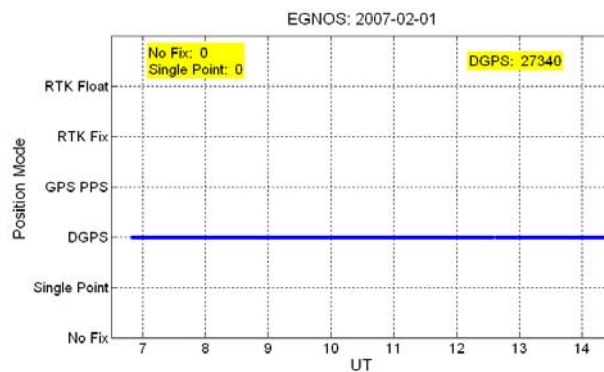
Zur Bewertung der Positionsgenauigkeit, die bei der Verwendung von GPS-Codemessungen in Kombination mit EGNOS-Korrekturen erreicht werden kann, wurde daher anhand der NMEA-Daten überprüft ob während der Messkampagne ein Wechsel zwischen den Positionsmoden auftrat. Die Ergebnisse der Auswertung finden sich in Abb. 5-8, Abb. 5-9, Abb. 5-10 und Abb. 5-11. Sie zeigen, dass zu jeder Zeit EGNOS-Korrekturen empfangen wurden und dass somit die Auswertung der GGEG-Positionsdaten ohne weitere Unterscheidung der Positionsmoden vorgenommen werden kann.



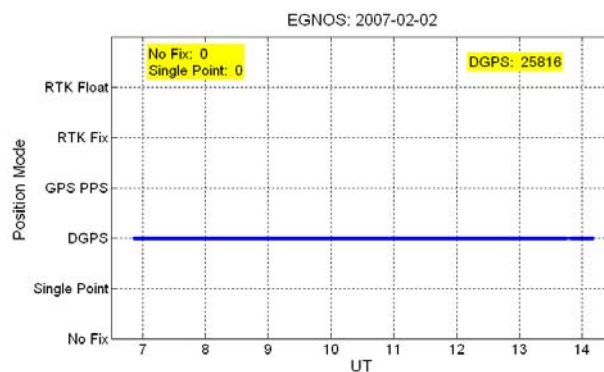
**Abb. 5-8: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 30.01.2007**



**Abb. 5-9: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 31.01.2007**



**Abb. 5-10: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 01.02.2007**



**Abb. 5-11: Positions-Moden des GGEG bei der Messfahrt am 02.02.2007**

### 5.4. Alter der RTK-Korrekturnachricht und Entfernung zur Referenz

Ein wichtiges Kriterium für das Erreichen einer hochgenauen (1-2cm) RTK-basierten Positionslösung ist das Alter der verwendeten Daten aus der Korrekturnachricht. Allgemein gilt, dass für eine optimale Positionsbestimmung die RTK-Korrekturdaten ein Alter von 0.5 –2s nicht überschreiten sollten (s. z. B. [Ref 12]). Der Hauptgrund für diesen hohen Aktualisierungsbedarf liegt darin, dass nicht einfach Distanzkorrekturen wie im Falle von DGPS gesendet werden, sondern Trägerphasen, die über die sogenannten Doppeldifferenzen mit den Phasenmessungen des Rovers verarbeitet werden müssen.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der in den NMEA-Daten des GRTK enthaltenen Informationen über das Alter der von der Referenzstation bereitgestellten Daten im Bezug zur geometrischen Entfernung zwischen Rover und Referenzstation für die einzelnen Messtage ist in Abb. 5-12 dargestellt.

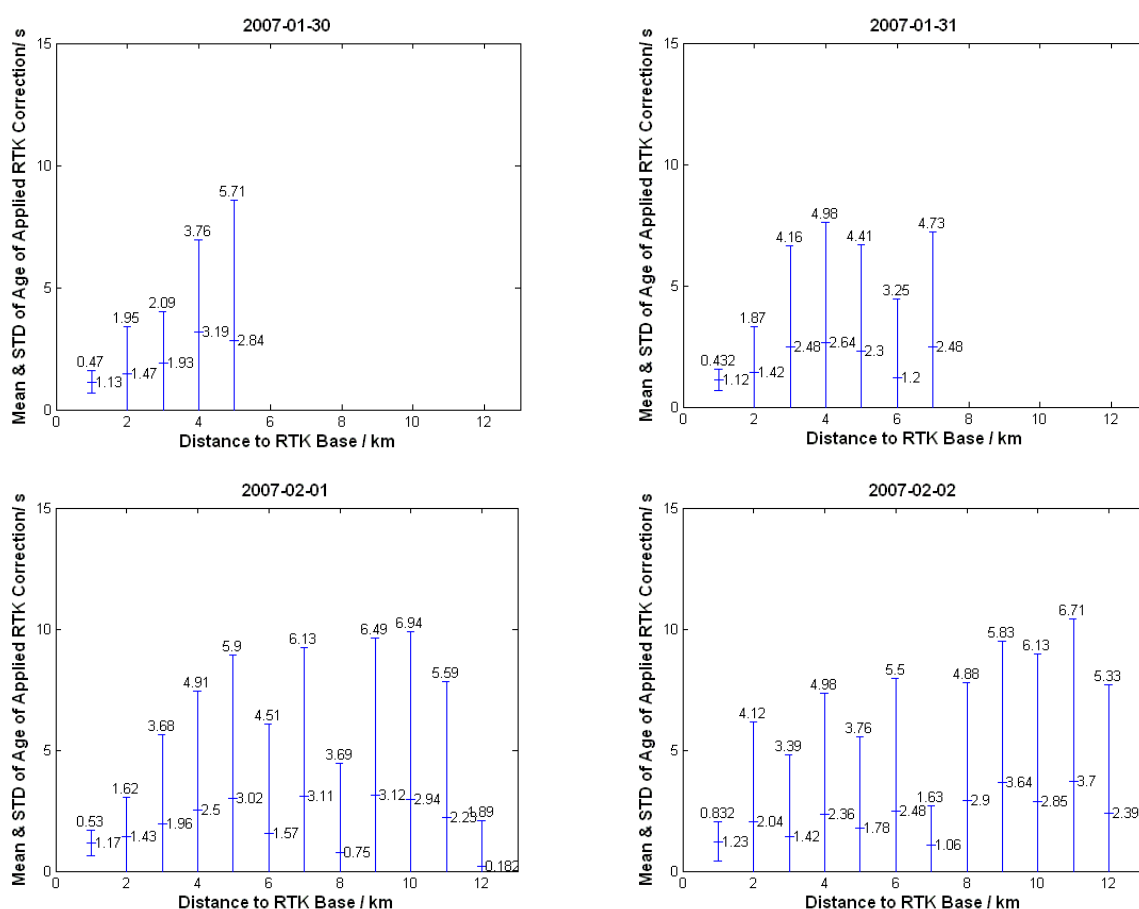


Abb. 5-12: Alter (Mittel und STD) der RTK-Korrektur am Rover bezogen auf die Entfernung zur Referenzstation

Die Ergebnisse zeigen, wie im Mittel aber auch in der Schwankungsbreite an allen vier Tagen das Alter der verwendeten Daten mit dem größer werden des Abstands zur Referenzstation im Trend zunimmt. Legt man diesem Ergebnis die Annahme zugrunde, dass Korrekturdaten, die älter als zwei Sekunden sind, nicht mehr die volle RTK-Positionsgenauigkeit ermöglichen, so lässt sich aus den Abbildungen schließen, dass dies ca. bei Abständen zur Referenzstation von etwa 5-6km der Fall war.

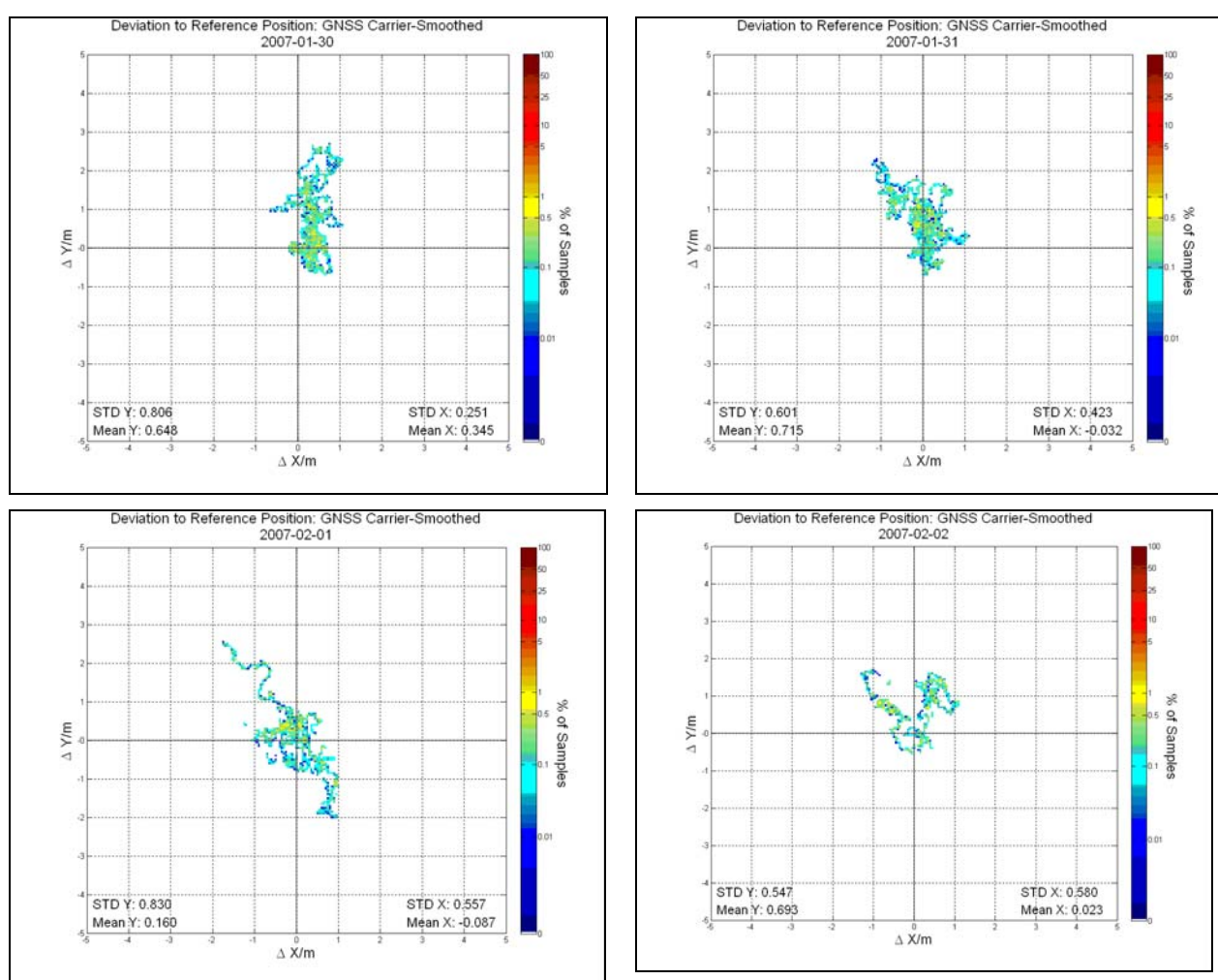
### 5.5. Horizontale Positionsgenauigkeit

In den folgenden Abschnitten sind, unterschieden nach den Empfängern, die erreichten horizontalen Positionsgenauigkeiten des jeweiligen Messtages graphisch dargestellt. Unter horizontaler Positionsgenauigkeit

genauigkeit wird dabei die horizontale Abweichung zwischen der post-prozessierten TTC-Lösung und der im Rover in Echtzeit bestimmter Position verstanden. Die Grafiken zeigen dabei in einem Raster die räumliche Verteilung der Abweichungen in X- und Y-Richtung<sup>7</sup> sowie<sup>8</sup>, farblich kodiert, die Anzahl der Messwerte in dem entsprechenden Rasterpunkt.

### 5.5.1.Referenzstation (GBAS)

Abb. 5-13 zeigt die horizontale Positionsgenauigkeit des GBAS-Empfängers an den vier Messtagen. Die erreichten Positionsgenauigkeiten dieser Code/Carrier-basierten GPS+GLONASS-Lösungen sind an allen Messtagen unter drei Metern und weisen sowohl in X- als auch in Y-Richtung Mittelwerte und Standardabweichungen kleiner als ein Meter auf. Die Ergebnisse sind damit im erwarteten Bereich und zeigen keine Besonderheiten.



**Abb. 5-13: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GBAS**

Angemerkt sei auch, dass die tagesweise unterschiedliche Qualität der TTC-Referenzdaten mit den größten Abweichungen am 31.01. und 01.02. sich in diesen Ergebnissen nicht widerspiegelt.

<sup>7</sup> Die Y-Richtung entspricht der Ausrichtung nach Norden

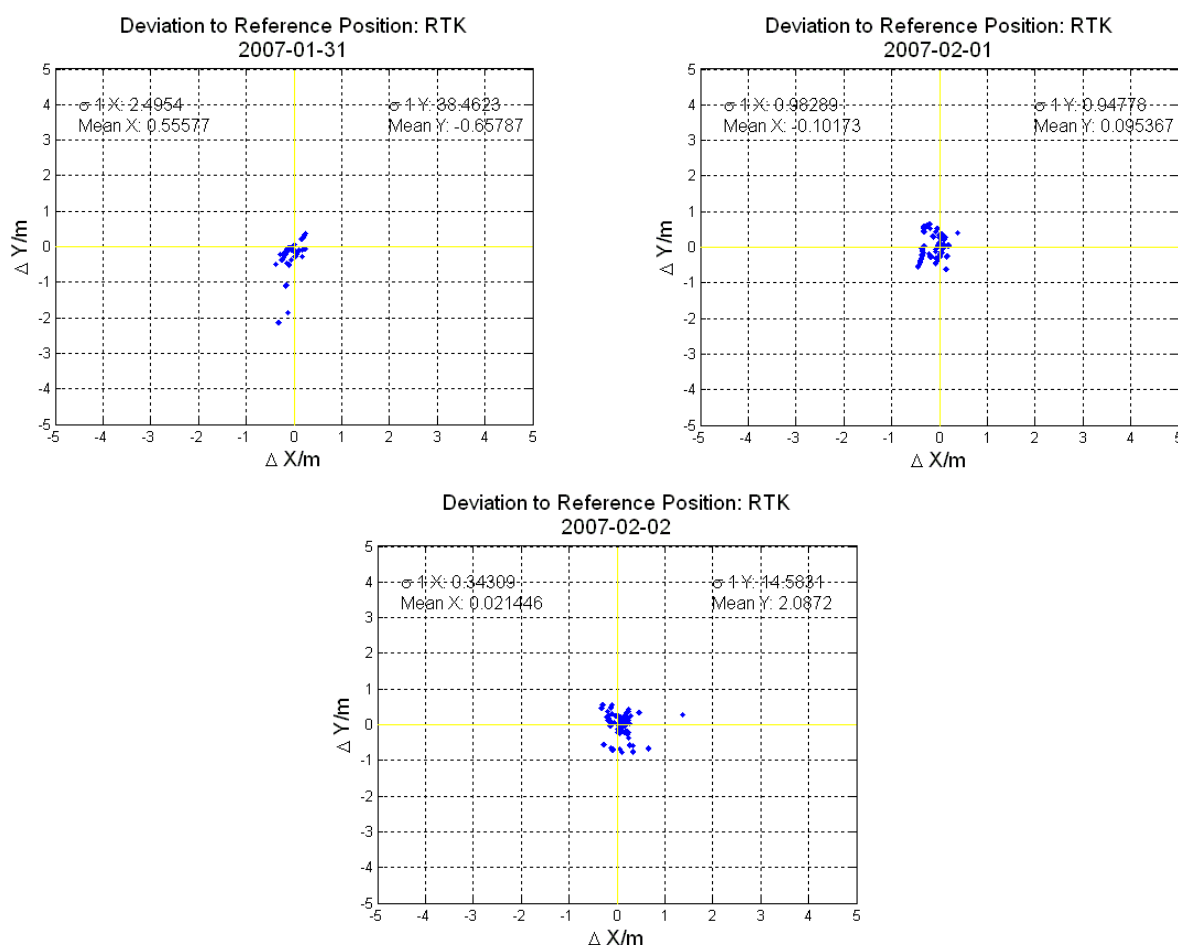
<sup>8</sup> Ausgenommen sind die RTK-Float-Lösungen - bei ihnen ist aufgrund der geringen Anzahl der Messwerte eine Rasterung und farbliche Kodierung nicht sinnvoll

**5.5.1.1. GRTK (Float)**

RTK-Float-Lösungen wurden nur über wenige Sekunden im Übergang von RTK-Fix zu Single Point und umgekehrt gebildet. Aufgrund dieses Übergangscharakters traten sie, im Verhältnis zu den anderen im RTK möglichen Positions-Moden, nur selten auf.

Am 30.01. gab es nur 9 Float-Lösungen, die keine statistische Aussage zulassen. Die geringe Anzahl ist darauf zurückzuführen das nur in einer geringen Distanz zu Referenzstation (<5 km) gemessen wurde, so das die Übertragung der RTK-Korrekturdaten in diesem Messzeitraum relativ ungestört war. An den Folgetagen traten Float-Lösungen häufiger auf.

Abb. 5-14 zeigt die horizontalen Positionsabweichungen die an den Messtagen vom 31.01. bis 02.02 im Float-Modus auftraten. Wie aus den Abbildungen ersichtlich, liegt die Positionierungsgenauigkeit in diesem Übergangsmodus im Bereich von 1 bis maximal 2 m..



**Abb. 5-14: Abweichung der RTK-Float-Lösungen von der Referenzposition**

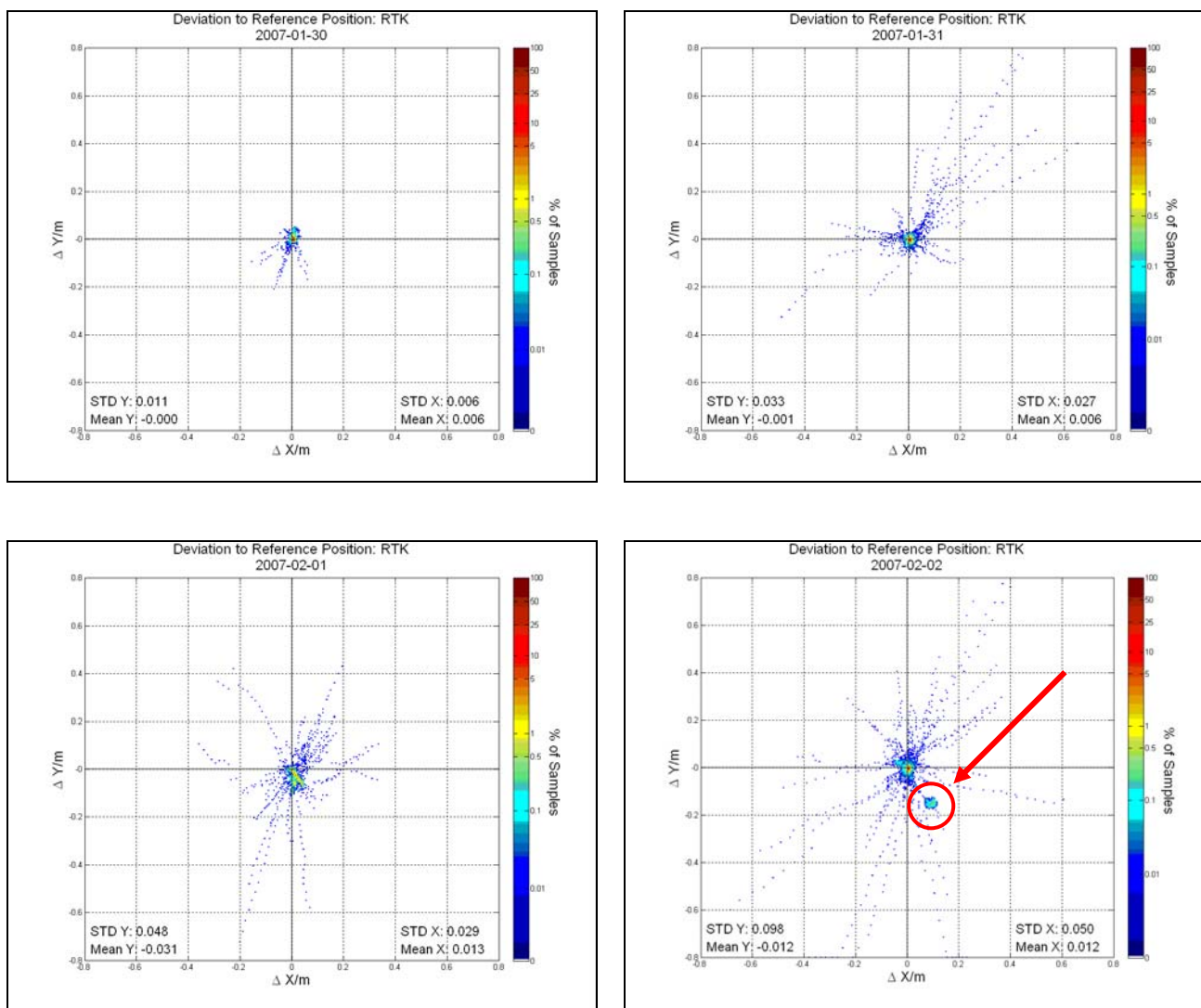
**5.5.1.2. GRTK (Fix)**

Abb. 5-13 zeigt die horizontale Positionsgenauigkeit des GRTK and den vier Messtagen, wobei nur Lösungen im RTK-Fix-Modus in die Analyse einbezogen wurden. Die erreichten Positionsgenauigkeiten sind an allen Messtagen unter 0.8 Metern und weisen sowohl in X- als auch in Y-Richtung Mittelwerte in der Abweichung im Bereich von 1 bis 2 Zentimetern auf, sowie Standardabweichungen kleiner als 10 Zentimeter. Auffällig an diesen Werten sind zum Einen die für RTK-Fix-Messungen unerwartet hohen Streuungen<sup>9</sup>, sowie die, wenn auch geringe, Anhäufung von Abweichungen in

<sup>9</sup> Gemeint sind Streuungen größer als 2-3 cm.



südwestlicher Richtung (rot umrandet), die nur am 02.02. auftraten. Da, wie in Abschn. 5.4 untersucht, dass Alter der RTK-Korrekturdaten eine wesentliche Rolle für die Qualität der Lösung spielt, wurde dieser Aspekt in die Analyse mit einbezogen. Die Ergebnisse dieser nun erweiterten Analyse finden sich im nächsten Abschnitt.

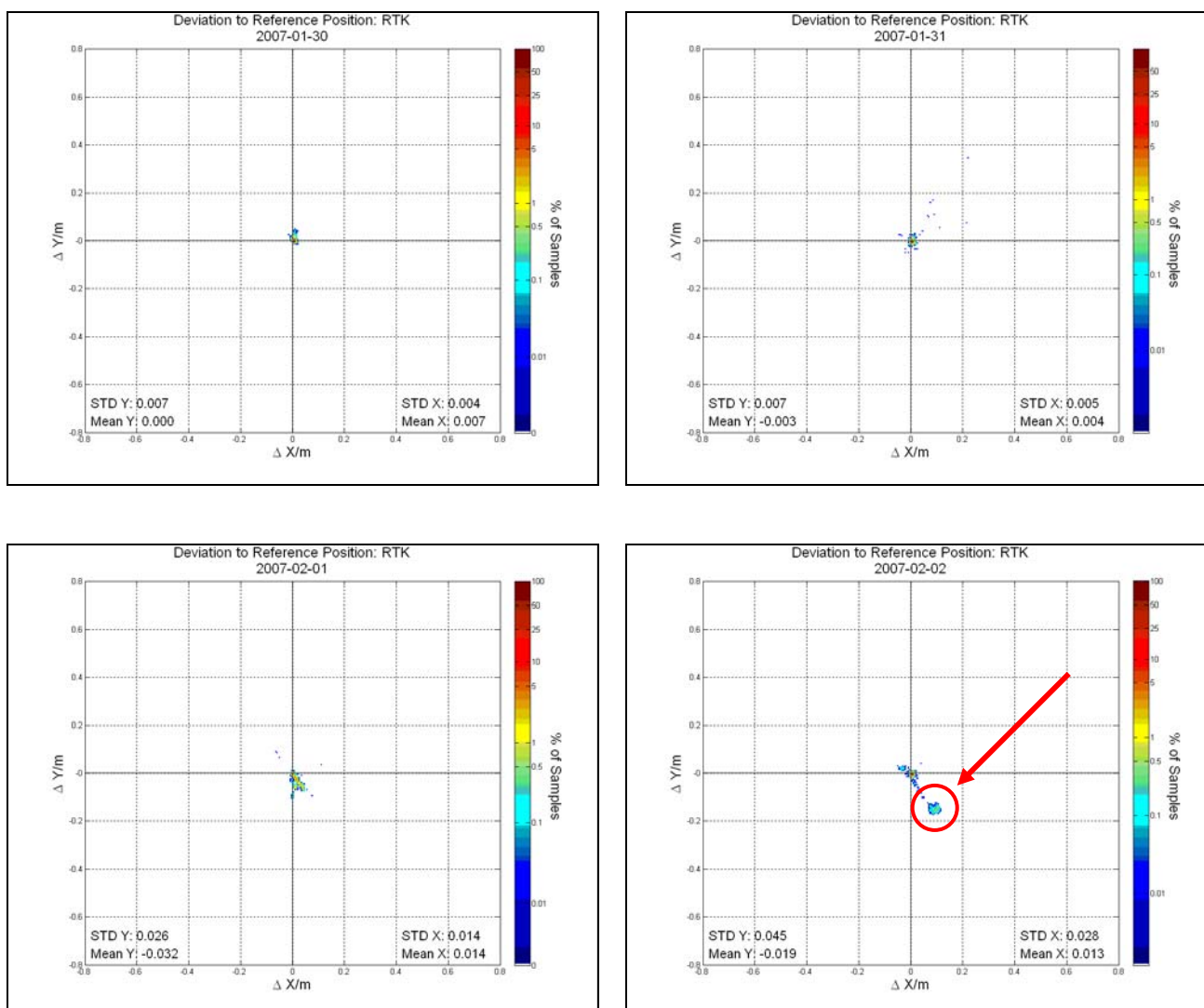


**Abb. 5-15: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GRTK (RTK-Fix)**

**5.5.1.3. GRTK Fix mit zeitnahen Korrekturinformationen**

Um die Abhängigkeit der Positionsgenauigkeit beim RTK-Verfahren vom Alter der übertragenen Korrekturdaten abzuschätzen, wurde die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Datenanalyse wiederholt. Es wurden diesmal jedoch nur Daten in die Analyse mit einbezogen, bei denen die Positionsberechnungen mit den Daten von der Referenzstation erfolgten, die nicht älter als 1 Sekunde waren. Die Ergebnisse dieser Analysen finden sich in Abb. 5-16.

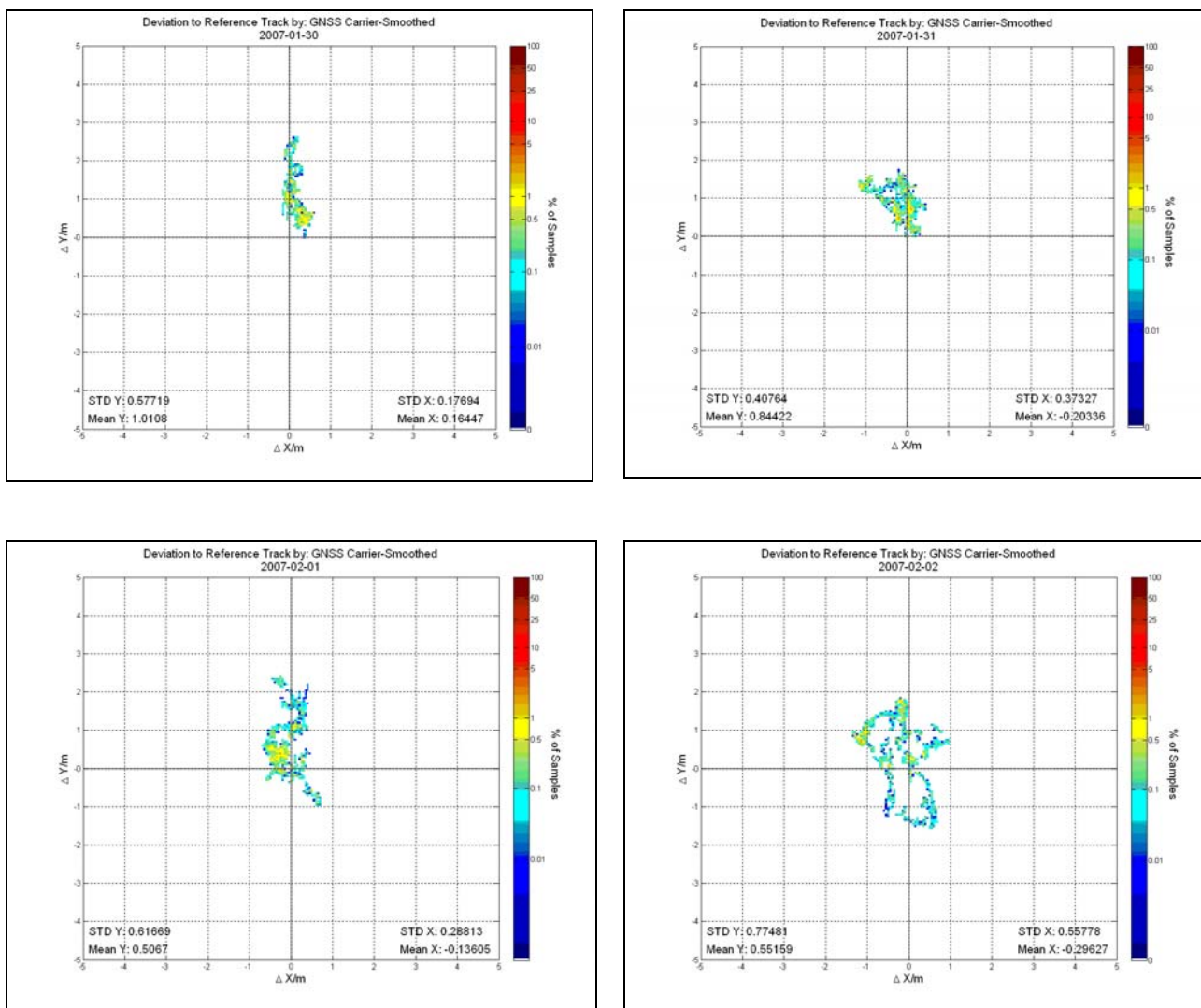
Die nun vorliegenden Ergebnisse mit Abweichungen und Streuungen im Bereich weniger Zentimeter zeigen deutlich, wie wichtig es ist zeitnahe Korrekturdaten zu verwenden. Angemerkt sei auch, dass die noch bestehenden Ausreißer in den Ergebnissen vom 31.01 bis 02.02, insbesondere die Ergebnisse des rot markierten Bereichs am 02.02. sich auf Ungenauigkeiten in den TTC-Daten zurückführen lassen (vergl. Abschn. 5.1 und [Ref 5]).



**Abb. 5-16: Verteilung der Horizontalen Positionsabweichungen des GRTK (RTK-Fix) bei der nur zeitnahe (1 Sek.) Korrekturinformationen verwendet wurden.**

**5.5.1.4. GNSS**

Abb. 1-1 zeigt die horizontale Positionsgenauigkeit des GNSS an den vier Messtagen. Die auf dem Rover erreichten Positionsgenauigkeiten dieser Code/Carrier-basierten GPS+GLONASS-Lösungen sind deutlich ungenauer (eine Stärke mittlere Verschiebung und größere Streuung der Abweichungen) als die mit dem gleichen Verfahren berechneten Positionen der Referenzstation. Doch auch hier treten keine Abweichungen größer als drei Meter auf. Wie auch beim GBAS-Empfänger stimmen die Ergebnisse mit den aus der Literatur erwarteten überein. Die im Vergleich zum GBAS auftretende größere Verschiebung der Mittelwerte sowie die stärkere Streuung erklären sich aus der Dynamik des Rovers.

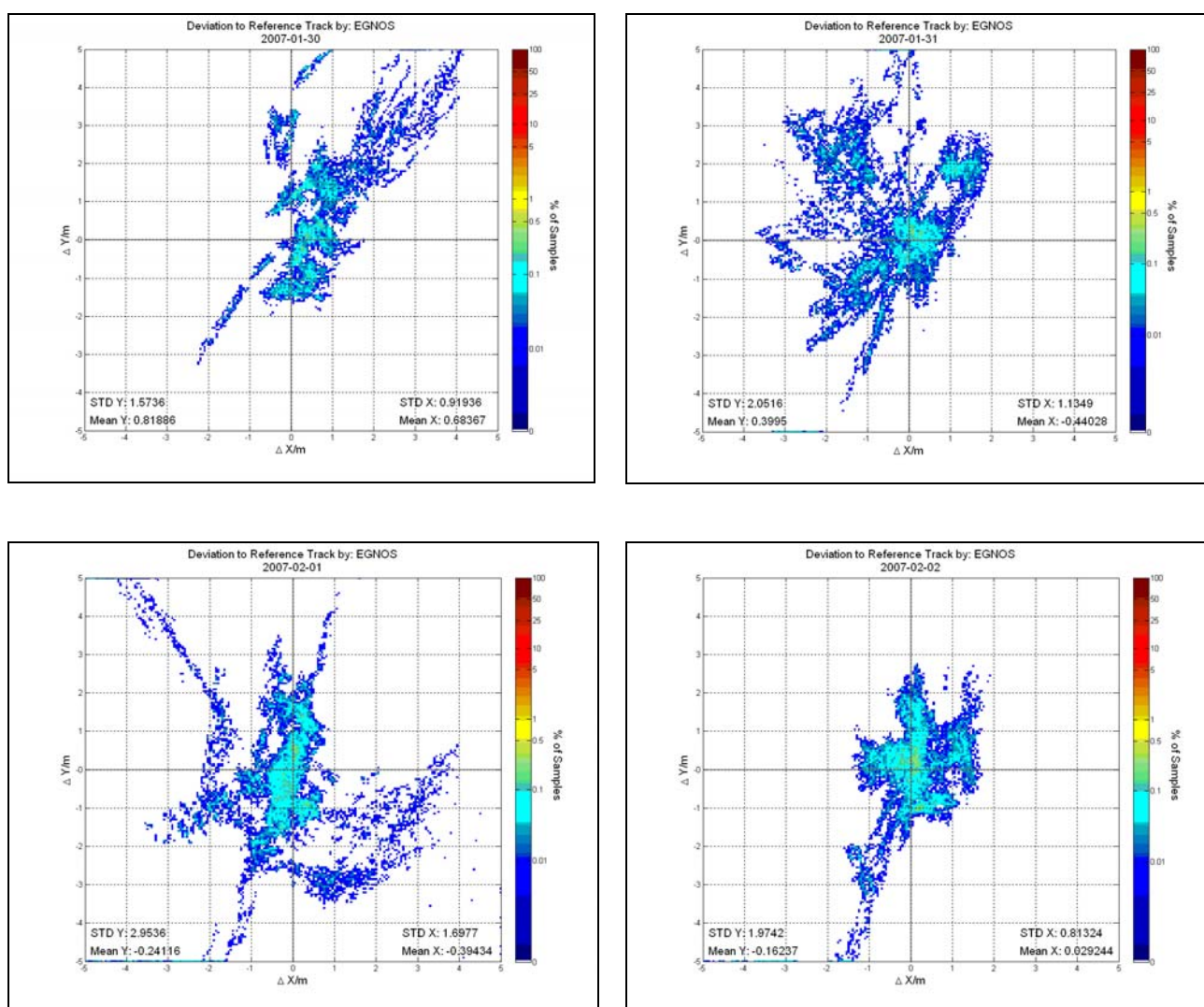


**Abb. 5-17: Verteilung der horizontalen Genauigkeit des GNSS**



**5.5.1.5. GGEG**

Abb. 5-18 zeigt die horizontale Positionsgenauigkeit des GGEG and den vier Messtagen. Die auf dem Rover erreichten Positionsgenauigkeiten dieser GPS+EGNOS-Lösung zeigen deutlich eine größere Streuung der Positionsabweichungen, als in allen anderen der hier untersuchten Verfahren zu finden ist. Zu beachten ist hier jedoch, dass diese durch Verwendung von EGNOS gebildeten Positionslösungen auf GPS-Codephasenmessungen beruhen (Konfigurationsparameter des Empfängers). Eine Beurteilung der Ergebnisse ließe sich in sinnvoller Weise nur durch den Vergleich mit rein Codebasierten GPS-Positionslösungen, bei denen keine EGNOS-Korrektur verwendet wurde, vornehmen. Wie auch bei allen anderen Empfängern stimmen diese Ergebnisse mit den aus der Literatur erwarteten überein (s. [Ref 14]).



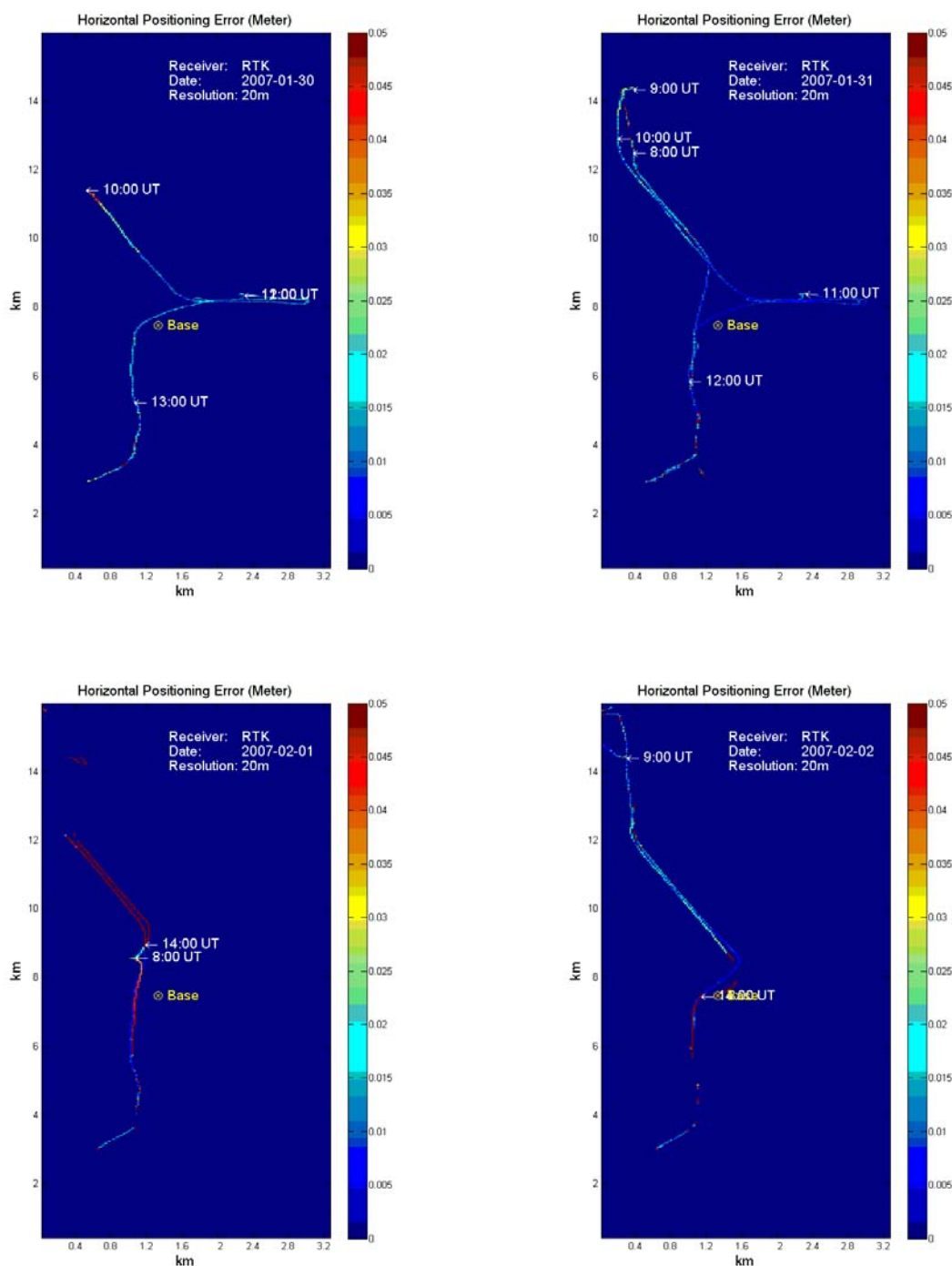
**Abb. 5-18: Verteilung der horizontalen Genauigkeit des GGEG**

**5.6. Raum- und Zeitbezug der Horizontalen Positionsfehler der Roverdaten**

In diesem Abschnitt wurden die horizontalen Positionsfehler der Rover-Empfänger auf den durch die TTC-Daten beschriebenen Kurs des Schiffes abgebildet. Aus den Abbildungen lässt sich erkennen, dass beim GRTK ein Zusammenhang zwischen der Entfernung zur Referenzstation und den berech-

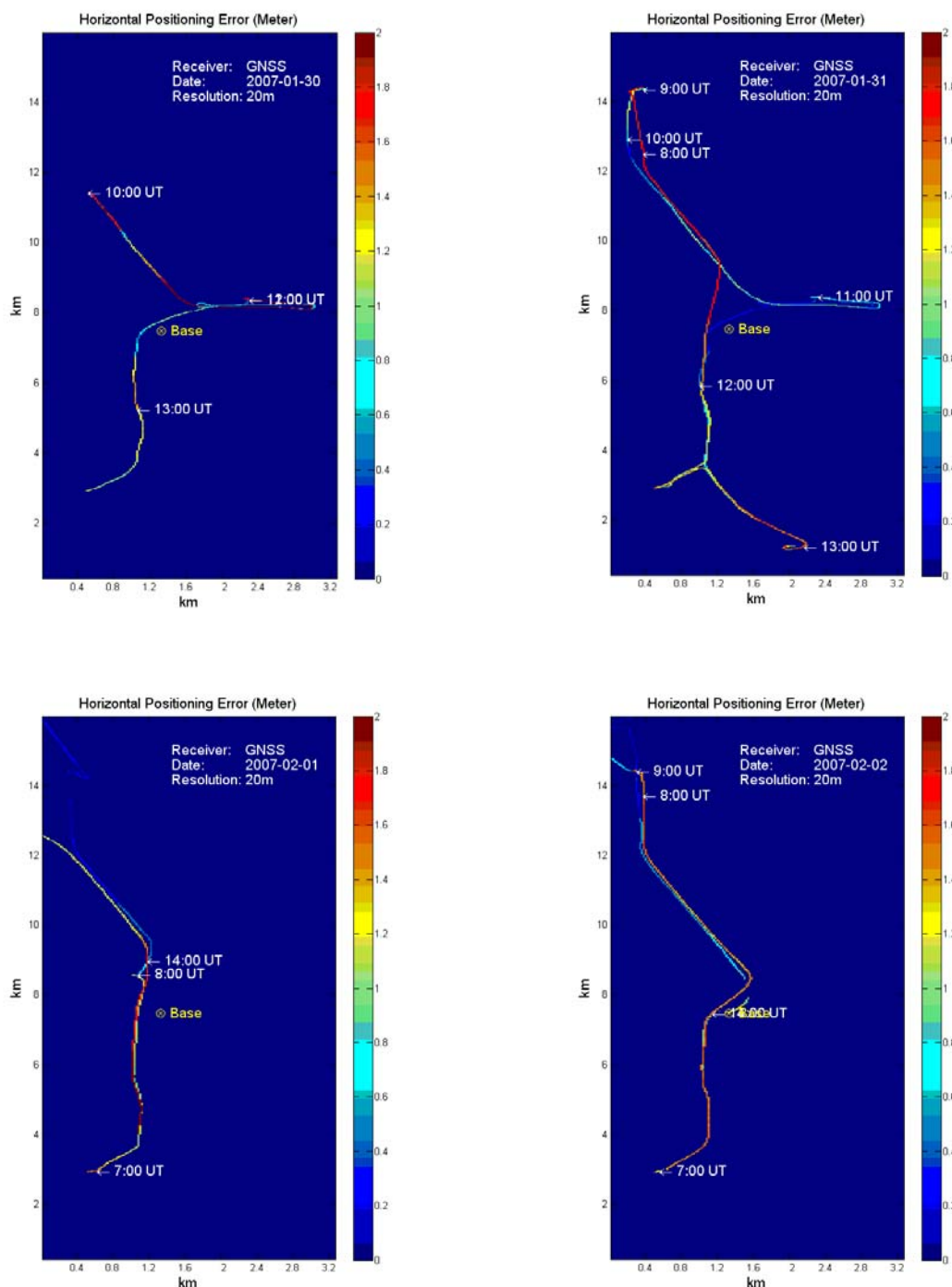
neten Positionsabweichungen besteht. Die Positionsabweichungen beim GNSS und GGEG weisen, wie erwartet, im Vergleich zwischen den Tagen keine räumliche Beziehung auf.

**5.6.1.GRTK**



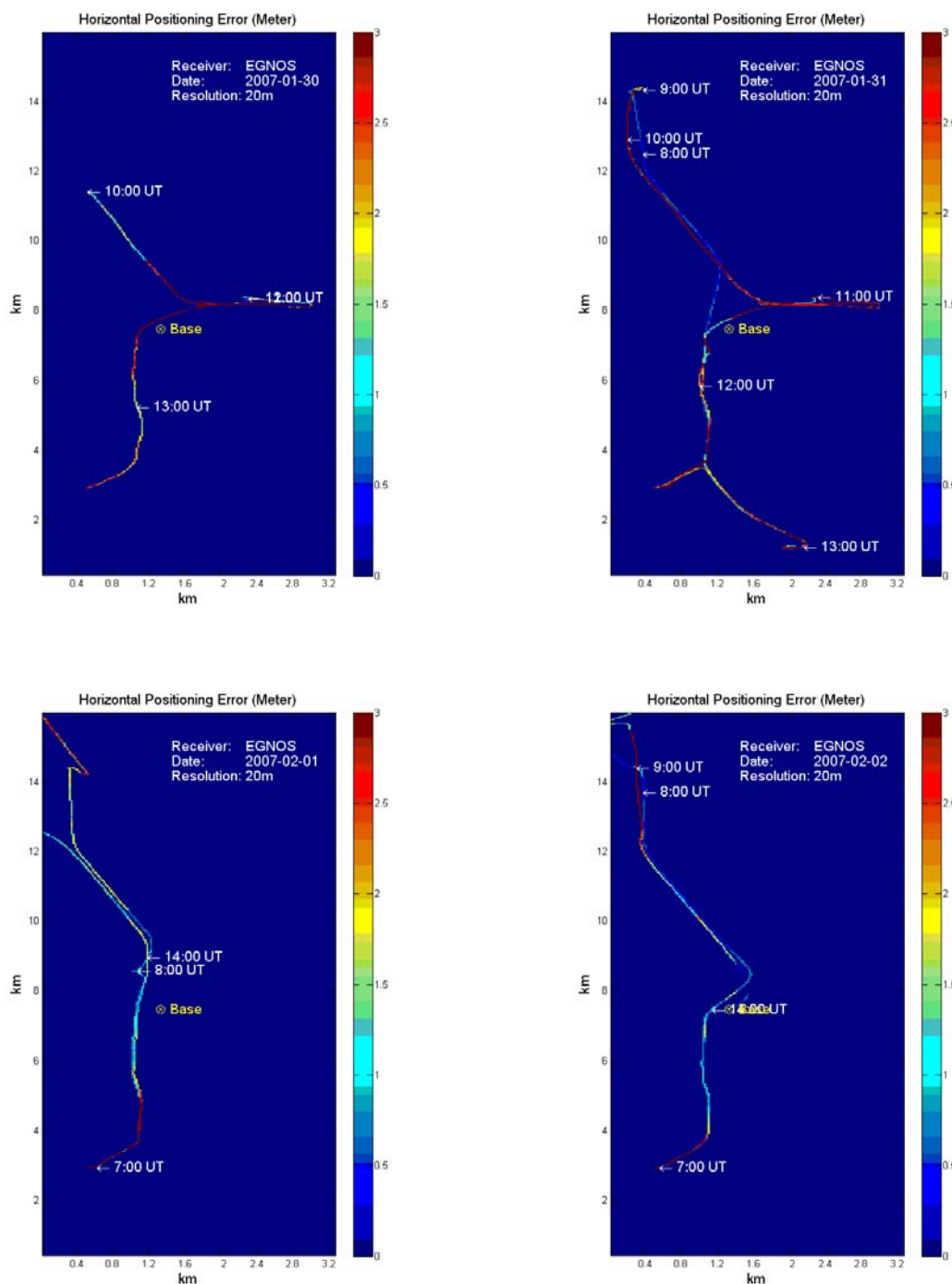
**Abb. 5-19: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GRTK auf die Referenzposition**

**5.6.2. GNSS**



**Abb. 5-20: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GNSS auf die Referenzposition**

**5.6.3. GGEG**



**Abb. 5-21: Abbildung des horizontalen Positionsfehlers des GGEG auf die Referenzposition**

## 5.7. Positionsgenauigkeit und HDOP

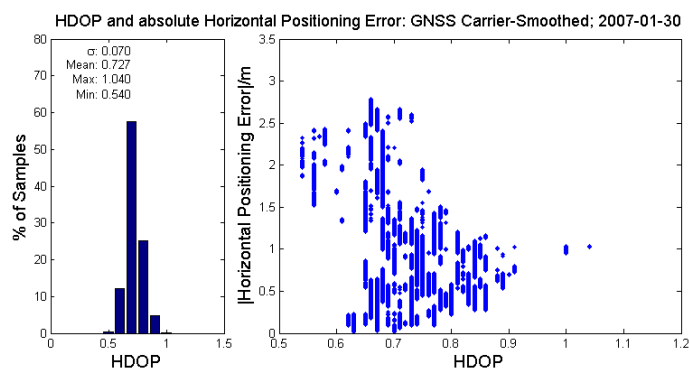
In diesem Abschnitt wird untersucht, inwieweit eine Beziehung zwischen den horizontalen Positionsabweichungen der einzelnen Empfänger und der Satellitengeometrie (ausgedrückt durch HDOP) besteht. Die Unterschiede in der Verteilung und dem Wertebereich der HDOP-Werte zwischen den einzelnen Empfängern ergeben sich dabei aus folgenden Gründen:

- Der GBAS-Empfänger war über 24 Stunden in Betrieb, so dass sich im Vergleich zum GNSS, der nur während der Messfahrt in Betrieb war, neben den unterschiedlichen Positionen auch eine unterschiedliche zeitliche Länge Datenbasis, ergibt.
- Bei den RTK-Messungen wurden nur RTK-Fix-Daten berücksichtigt.
- Bei GGEG-Messungen wurden keine GLONASS-Satelliten mit einbezogen, so dass sich andere und höher HDOPs ergeben als für den GBAS- oder GNSS-Empfänger.

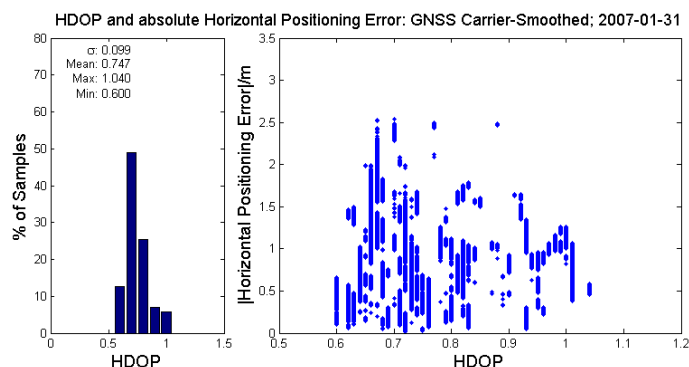
### 5.7.1.Referenzstation (GBAS)

Wie aus Abb. 5-22, Abb. 5-23, Abb. 5-24 und Abb. 5-25 ersichtlich, sind die HDOP-Werte des GBAS-Empfängers an der Referenzstation an allen Tagen kleiner als 1,1 und weisen kleine Streuungen im Bereich kleiner 0.1 auf. HDOP-Werte in diesem Wertebereich und mit dieser geringen Streuung sind als optimal anzusehen.

Aus der Zuordnung der Positionsfehler zu den HDOP-Werten lässt sich keine Beziehung ableiten.



**Abb. 5-22: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 30.01.2007**



**Abb. 5-23: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 31.01.2007**

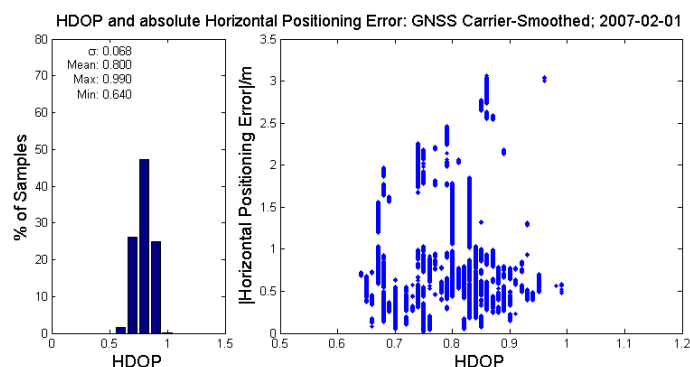


Abb. 5-24: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 01.02.2007

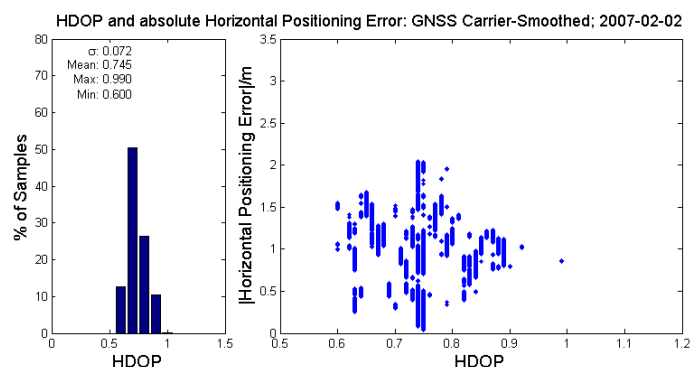


Abb. 5-25: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GBAS am 02.02.2007

## 5.7.2. Rover

### 5.7.2.1. GRTK

Wie aus Abb. 5-26, Abb. 5-27, Abb. 5-28 und Abb. 5-29 ersichtlich sind die HDOP-Werte des GRTK-Empfängers auf dem Rover an allen Tagen kleiner als 2,2 und weisen kleine Streuungen im Bereich 0.1 und kleiner auf. Auch hier sind die HDOP-Werte in diesem Wertebereich und mit dieser geringen Streuung als optimal anzusehen.

Aus der Zuordnung der Positionsfehler zu den HDOP-Werten lässt sich keine Beziehung ableiten.

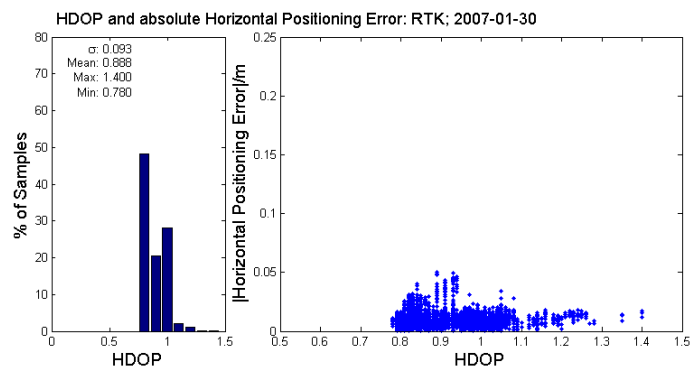


Abb. 5-26: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 30.01.2007

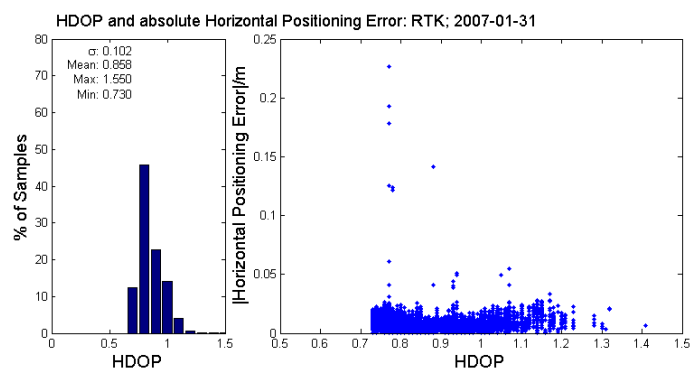


Abb. 5-27: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 31.01.2007

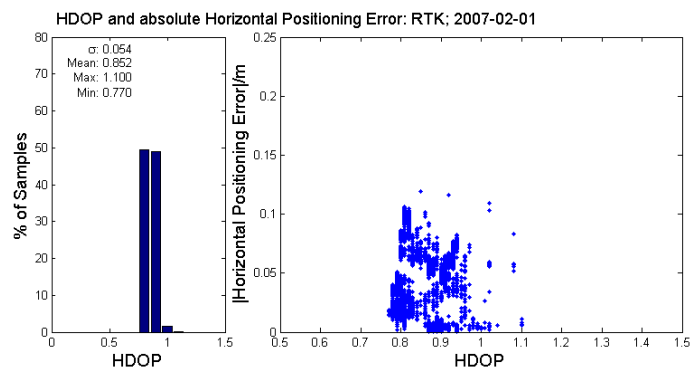


Abb. 5-28: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 01.02.2007

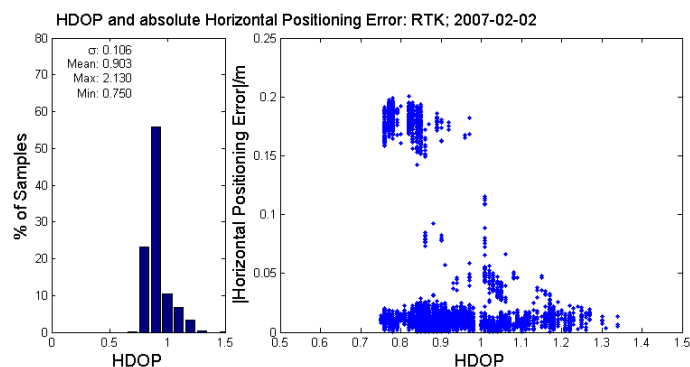
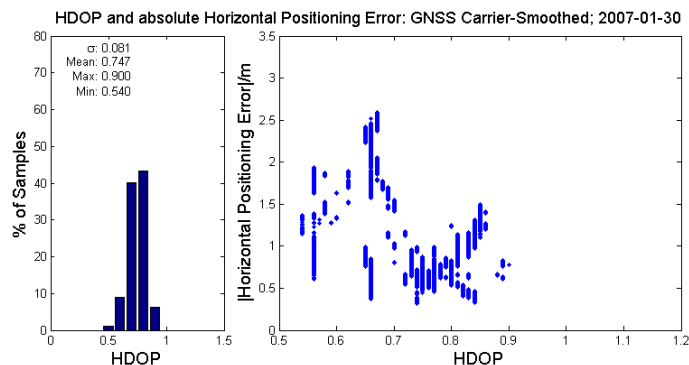


Abb. 5-29: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GRTK am 02.02.2007

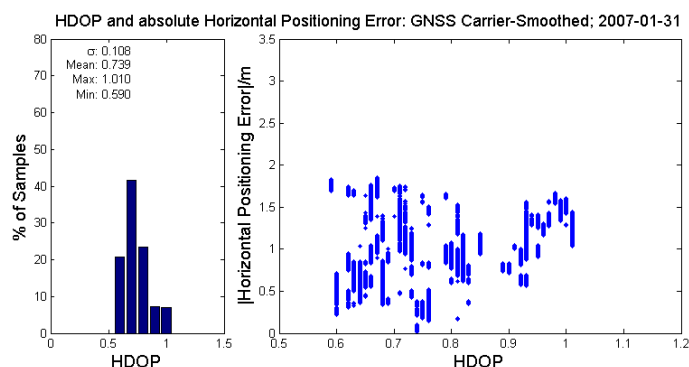
### 5.7.2.2. GNSS

Wie aus Abb. 5-30, Abb. 5-31, Abb. 5-32 und Abb. 5-33 ersichtlich sind die HDOP-Werte des GNSS-Empfängers auf dem Rover an allen Tagen kleiner als 1,1 und weisen kleine Streuungen im Bereich 0.1 und kleiner auf. Auch hier sind die HDOP-Werte in diesem Wertebereich und mit dieser geringen Streuung als optimal anzusehen und lassen sich in etwa mit denen der GBAS-Station vergleichen.

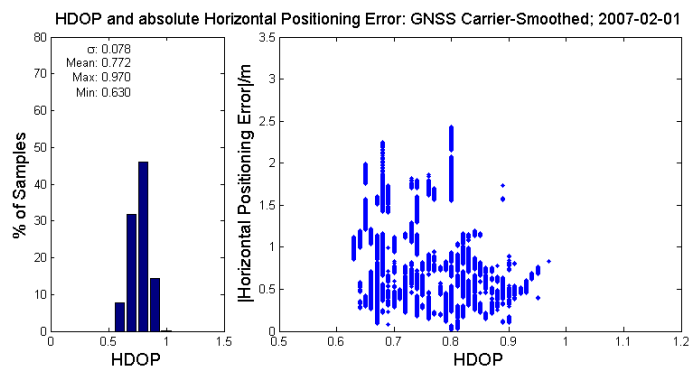
Aus der Zuordnung der Positionsfehler zu den HDOP-Werten lässt sich keine Beziehung ableiten.



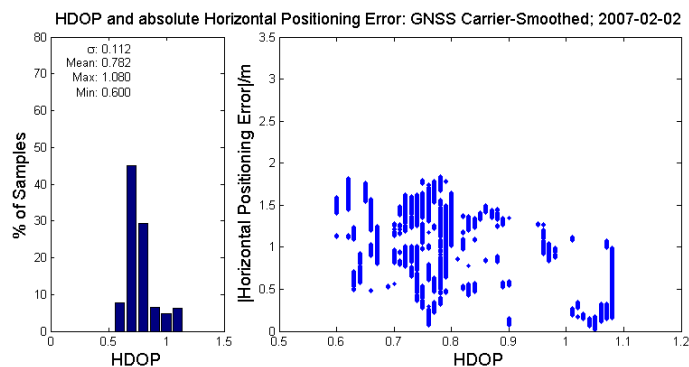
**Abb. 5-30: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 30.01.2007**



**Abb. 5-31: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 31.01.2007**



**Abb. 5-32: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 01.02.2007**

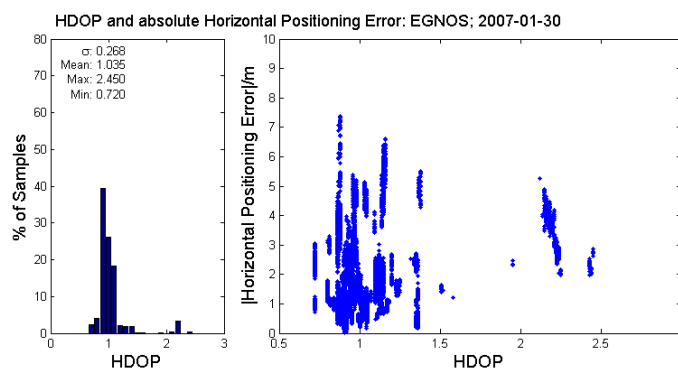


**Abb. 5-33: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GNSS am 02.02.2007**

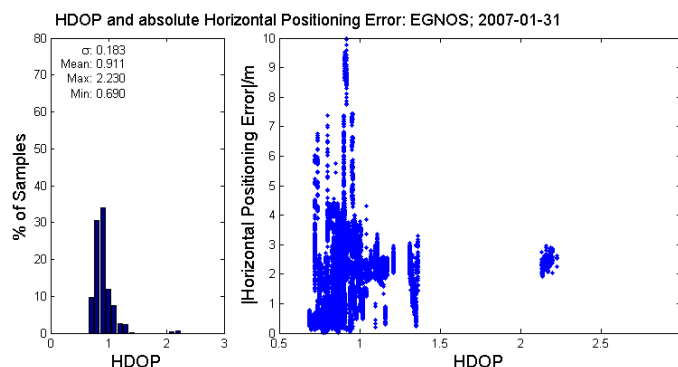


**5.7.2.3. GGEG**

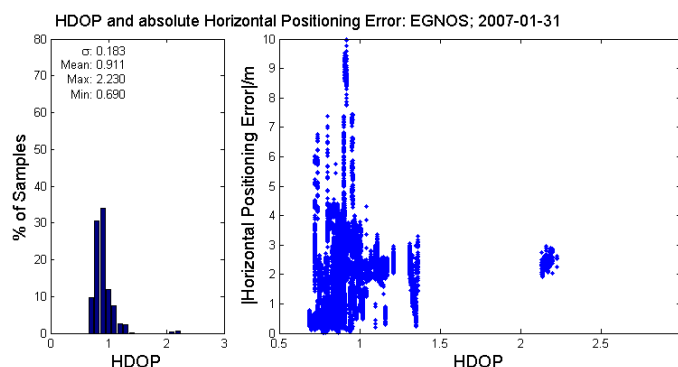
Wie aus Abb. 5-34, Abb. 5-35, Abb. 5-36 und Abb. 5-37 ersichtlich sind die HDOP-Werte des GGEG-Empfängers auf dem Rover an allen Tagen kleiner als 2,5 und weisen kleine Streuungen im Bereich 0.3 und kleiner auf. Auch wenn dieser Empfänger die höchsten der gemessenen HDOP-Werte mit der größten Streuung aufweist sind die Werte auch hier als optimal anzusehen und auch hier lassen sich aus der Zuordnung der Positionsfehler zu den HDOP-Werten keine Beziehung ableiten.



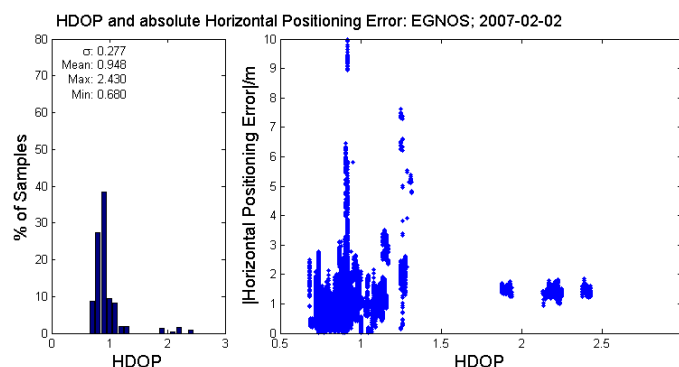
**Abb. 5-34: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 30.01.2007**



**Abb. 5-35: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 31.01.2007**



**Abb. 5-36: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 01.02.2007**



**Abb. 5-37: HDOP und Horizontaler Positionsfehler des GGEG am 02.02.2007**

### 5.8. Fehlerwahrscheinlichkeiten

In Ergänzung zu den Analysen der vorhergehenden Abschnitte sind hier, die aus den horizontalen Positionsabweichungen und der Anzahl der Messungen sich ergebenden 2 $\sigma$ - und 3 $\sigma$ -Standardabweichungen bzw. Fehlerwahrscheinlichkeiten für die einzelnen Empfänger und Messtage aufgelistet.

#### 30-01-2007

Empfänger	Fehlerwahrscheinlichkeit	
	95 %	99,99%
<b>GRTK</b>	0.0198 m 0.0165 m <sup>10</sup>	0.199 m 0.050 m <sup>9</sup>
<b>GNSS</b>	2.247 m	2.593 m
<b>GBAS</b>	2.403 m	2.781 m
<b>GGEG</b>	4.383 m	7.367 m

#### 31-01-2007

Empfänger	Fehlerwahrscheinlichkeit	
	95 %	99,99%
<b>GRTK</b>	0.023 m 0.016 m <sup>9</sup>	0.932 m 0.226 m <sup>9</sup>
<b>GNSS</b>	1.731 m	1.846 m
<b>GBAS</b>	1.733 m	2.528 m
<b>GGEG</b>	3.887 m	12.443 m

#### 01-02-2007

<sup>10</sup> Alter der Korrekturnachricht nicht älter als 1 sec

Empfänger	Fehlerwahrscheinlichkeit	
	95 %	99,99%
<b>GRTK</b>	0.098 m 0.085 m <sup>9</sup>	0.707 m 0.116 m <sup>9</sup>
<b>GNSS</b>	1.704 m	2.425 m
<b>GBAS</b>	2.134 m	3.042 m
<b>GGEG</b>	5.926 m	39.625 m

**02-02-2007**

Empfänger	Fehlerwahrscheinlichkeit	
	95 %	99,99%
<b>GRTK</b>	0.183 m 0.179 m <sup>9</sup>	2.708 m 0.199 m <sup>9</sup>
<b>GNSS</b>	1.711 m	1.8381 m
<b>GBAS</b>	1.607 m	2.043 m
<b>GGEG</b>	2.723 m	19.3681 m

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser TN wurden die im Rostocker Hafen aufgezeichneten Messdatendaten von vier GNSS-Empfängern untersucht. Dazu wurde ein Empfänger als statische Referenzstation eingerichtet (GBAS) und drei weitere Empfänger (GNSS, GGEG und GRTK) auf einem Forschungsschiff bei Messfahrten eingesetzt. Auf den Empfänger wurden drei unterschiedliche Verfahren zur Positionierung verwendet:

1. GBAS, GNSS: Positionierung mit Code- u. Trägerphasenmessungen von GPS- und GLONASS ,
2. GGEG: Positionierung mit Codephasenmessungen des GPS in Kombination mit EGNOS, sowie
3. GRTK: RTK-basierte Positionierung unter Einbeziehung einer lokalen Referenzstation (GBAS) im Hafen von Rostock.

Da im Gegensatz zur Vermessung bei der Navigation die Positionsbestimmung über relativ wenige Epochen erfolgt, ist zu erwarten, dass sich systematische und besonders kurzzeitig wirkende Fehlerinflüsse in den Satellitensignalen negativ auf die Positionsverfügbarkeit und –Qualität auswirken. Einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse sollten dabei insbesondere die Einflüsse von Mehrwegeeffekten, Abschattungen und, im Falle von RTK-Messungen, Probleme bei schlechter Datenübertragung von Referenzstationen haben. Ausgehend von diesen Annahmen wurden die Daten der vier Empfänger analysiert. Die Ergebnisse sind wie folgt:

- Es gab einige wenige Datenlücken in den NMEA-Daten, jedoch traten diese nicht synchron auf mehreren Empfängern auf.
- Positionslösungen waren auf allen Empfängern jederzeit möglich und Probleme durch Mehrwegeeffekte in dieser Analyse nicht nachzuweisen<sup>11</sup>.
- Die durch die unterschiedlichen Verfahren erreichten Positionsgenauigkeiten entsprechen denen, die in der Literatur zu finden sind.
- Die HDOP-Werte waren zu jedem Zeitpunkt kleiner als 3 und damit als gut zu bezeichnen, selbst wenn, wie beim GGEG, nur GPS verwendet wurde. Die Streuung innerhalb der HDOP-Werte war gering und eine Beziehung zwischen Positionsfehler und HDOP-Werten ließ sich in den vorhandenen Daten nicht nachweisen.
- Einschränkungen in der Positionierungsverfügbarkeit und -Qualität bei der RTK-Anwendung lassen sich hier zum Einen auf Probleme mit bzw. dem Abbruch der Kommunikationsverbindung zurückführen, zum Anderen ist die RTK-Positionsgenauigkeit sehr stark abhängig vom Alter der Korrektur-Daten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Bezug auf Positionsverfügbarkeit und –Qualität die aufgrund der vorhandenen Literatur getroffenen Erwartungen, die an die unterschiedlichen Verfahren geknüpft sind, vollständig erfüllt wurden.

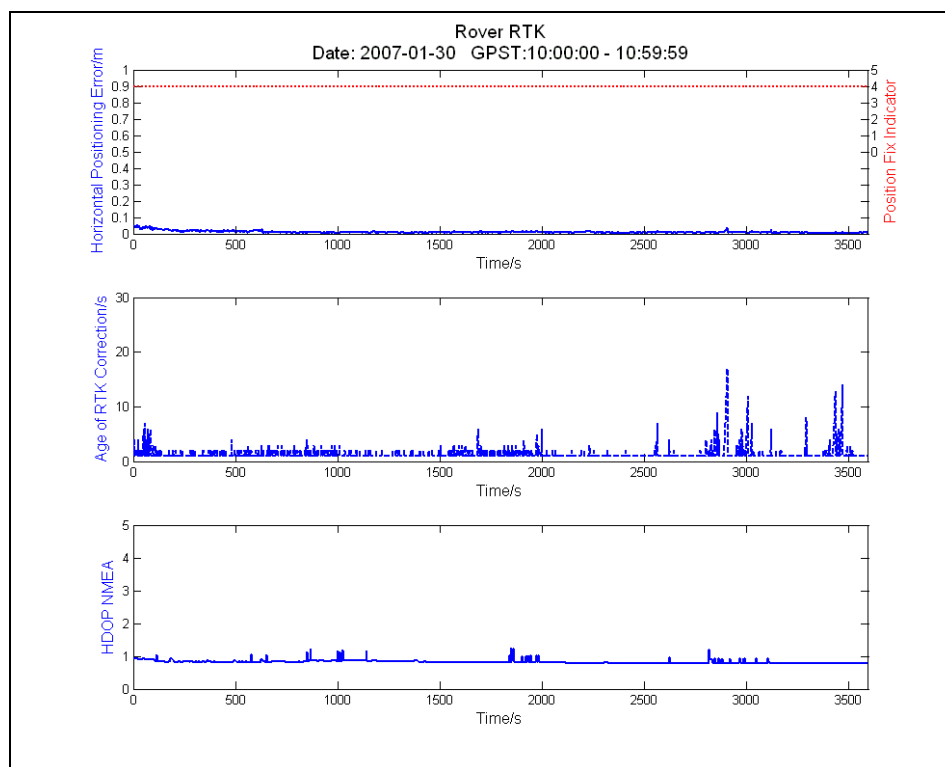
---

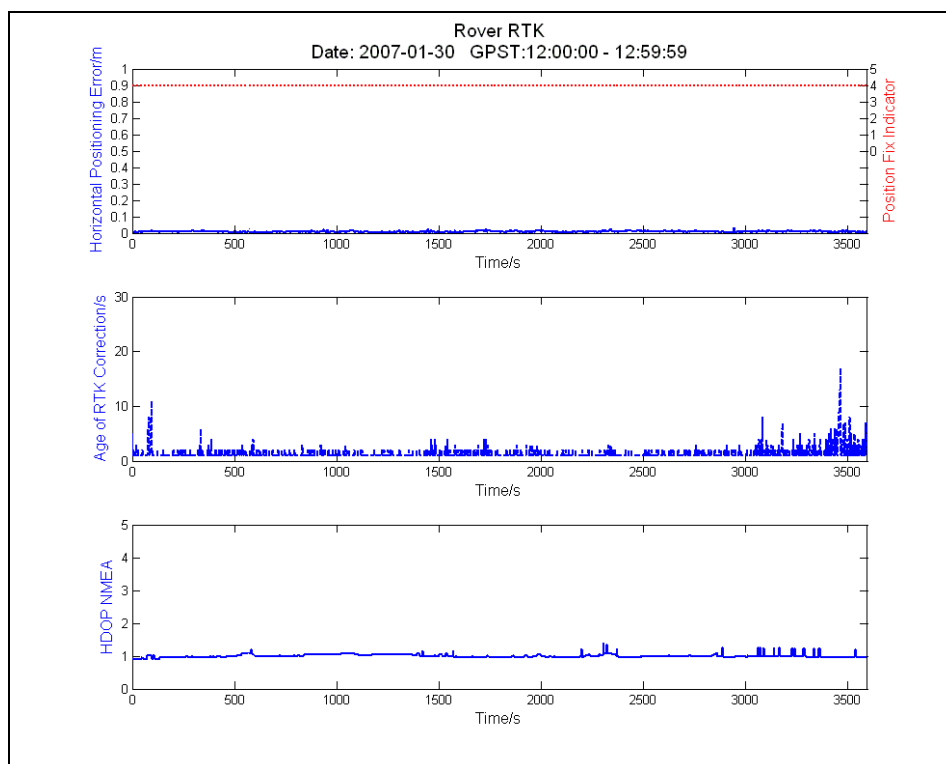
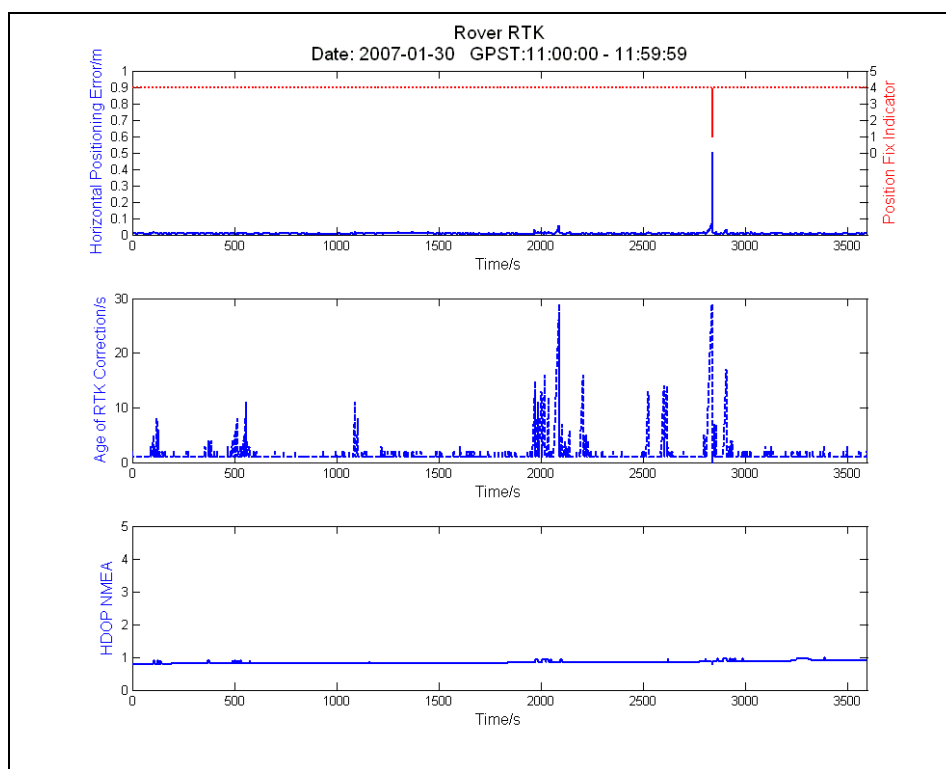
<sup>11</sup> Für eine nähere Betrachtung der Problematik der Mehrwegeausbreitung sei auf [Ref 6] verwiesen.

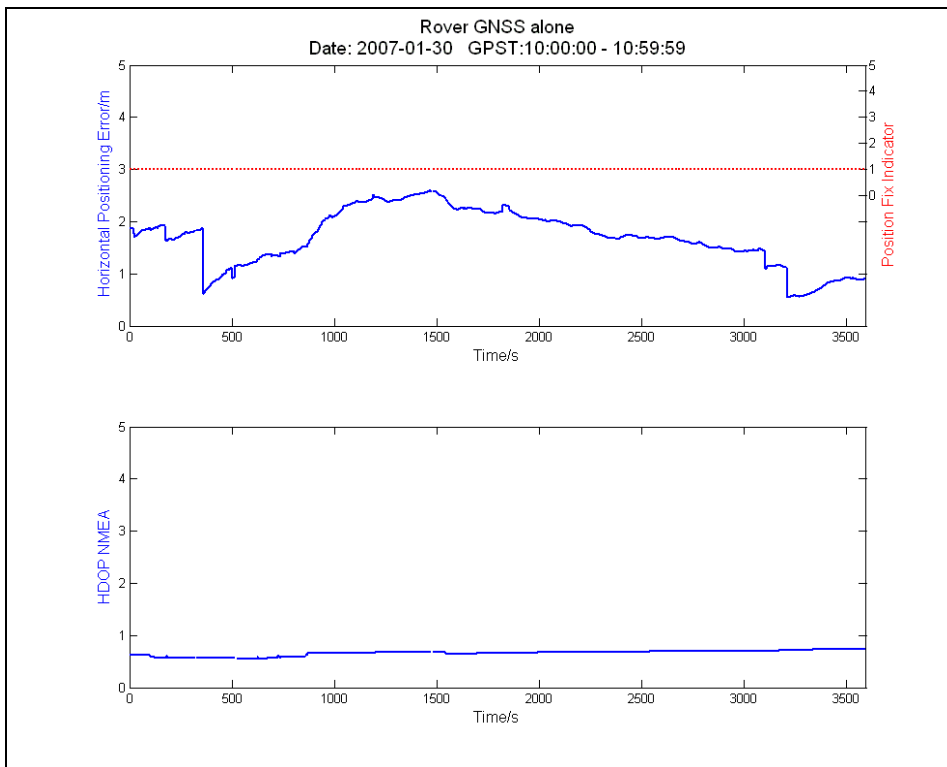
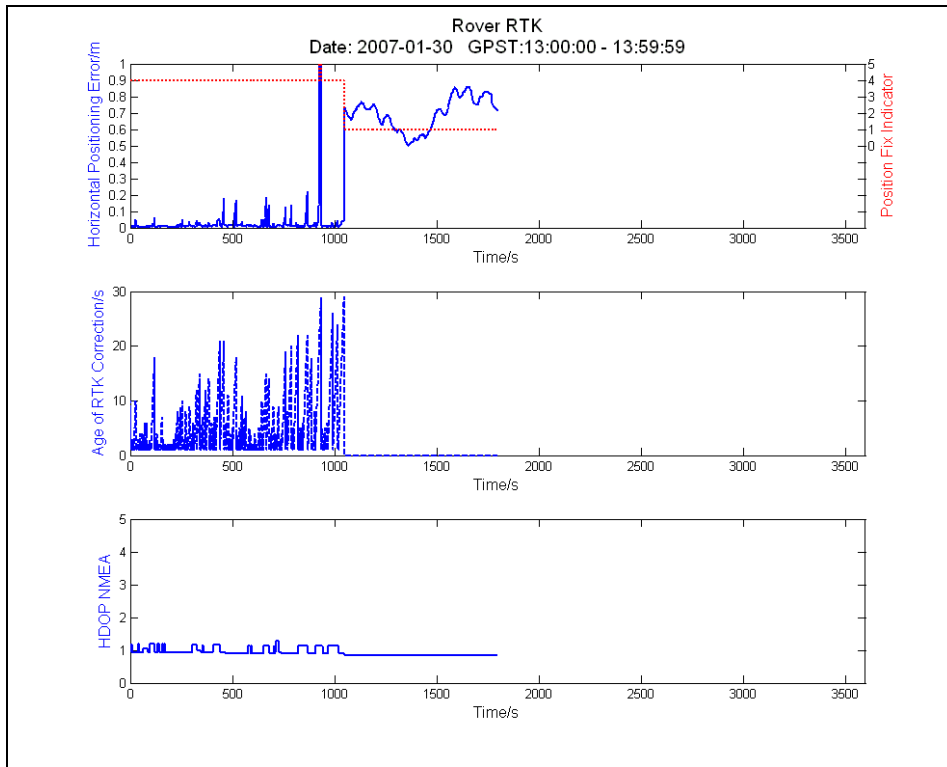
## 7. Anhang

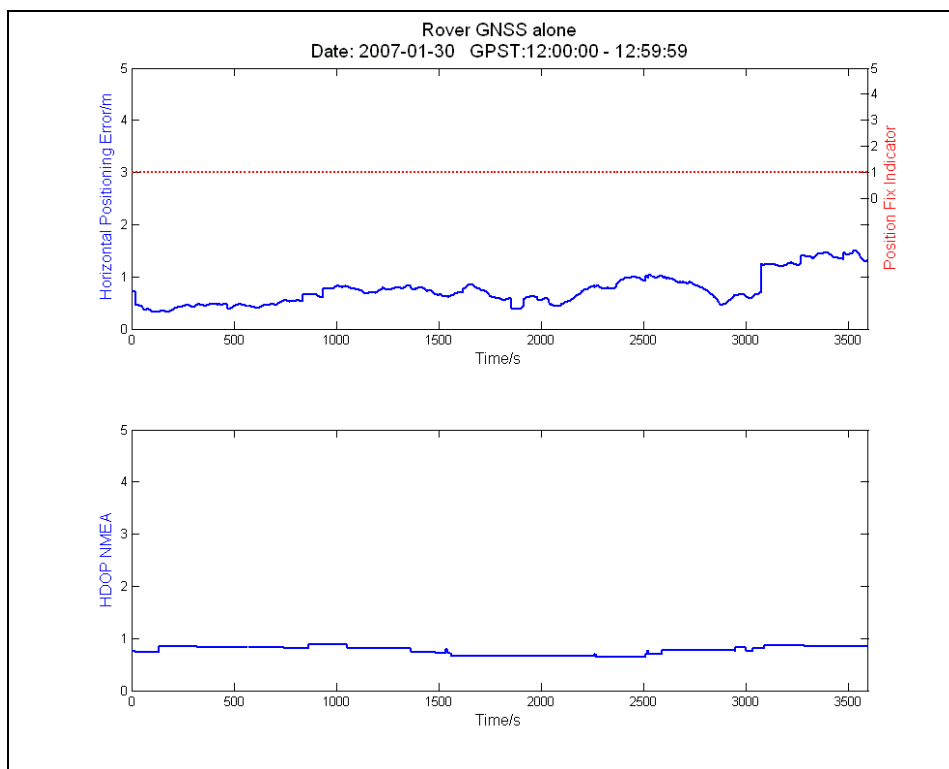
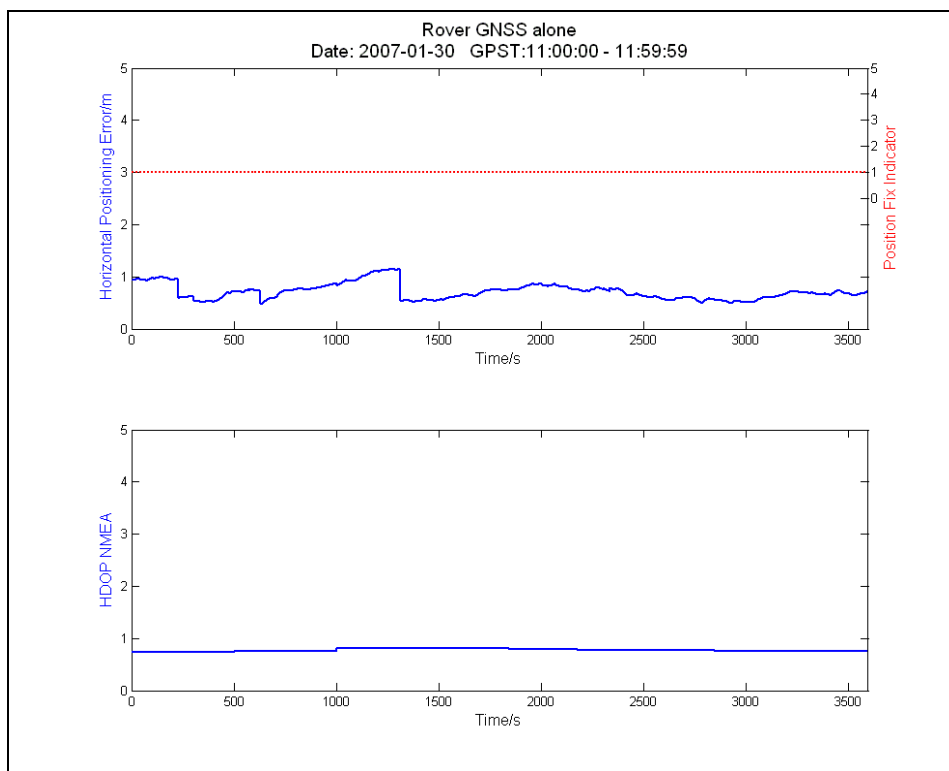
### A. Zeitbezogene Darstellungen einzelner Parameter

30-01-2007 (RTK, GNSS, EGNOS)

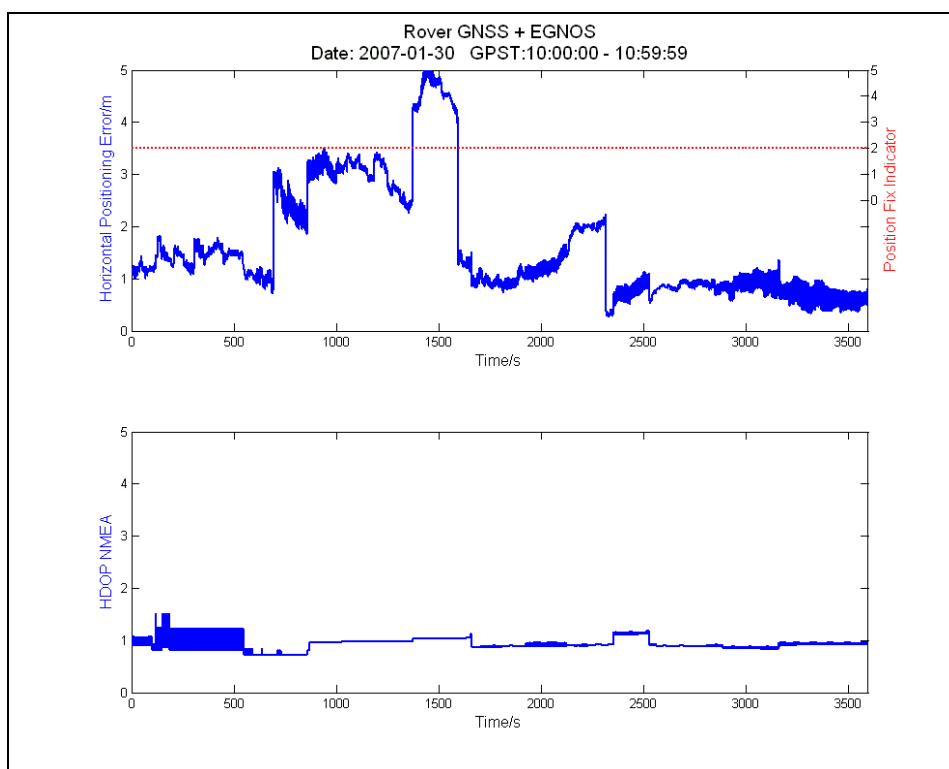
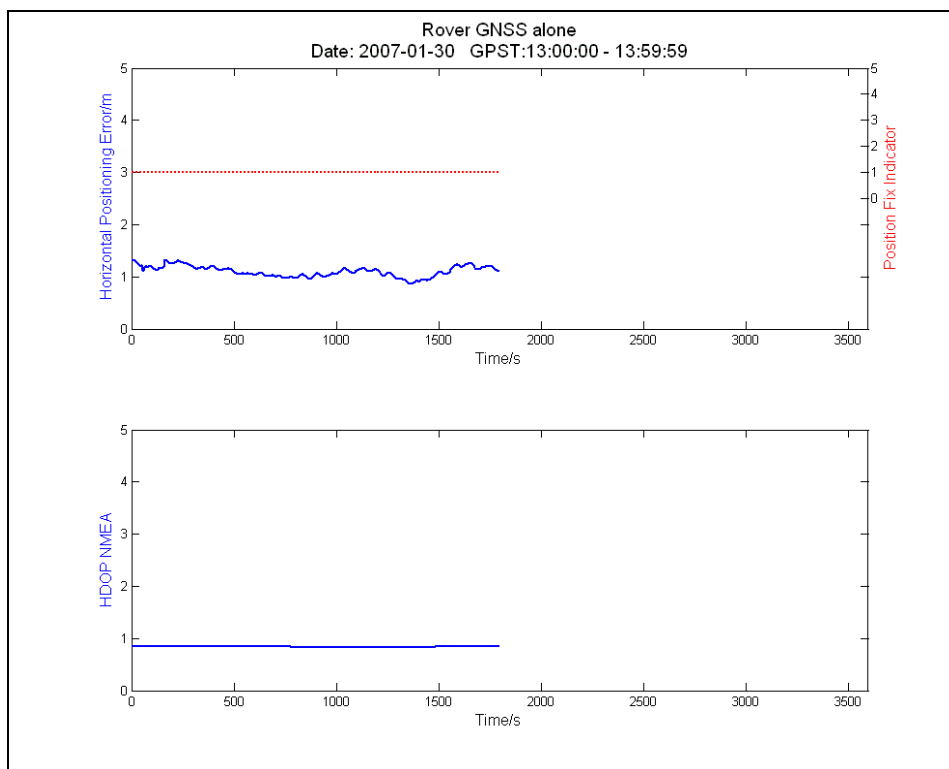


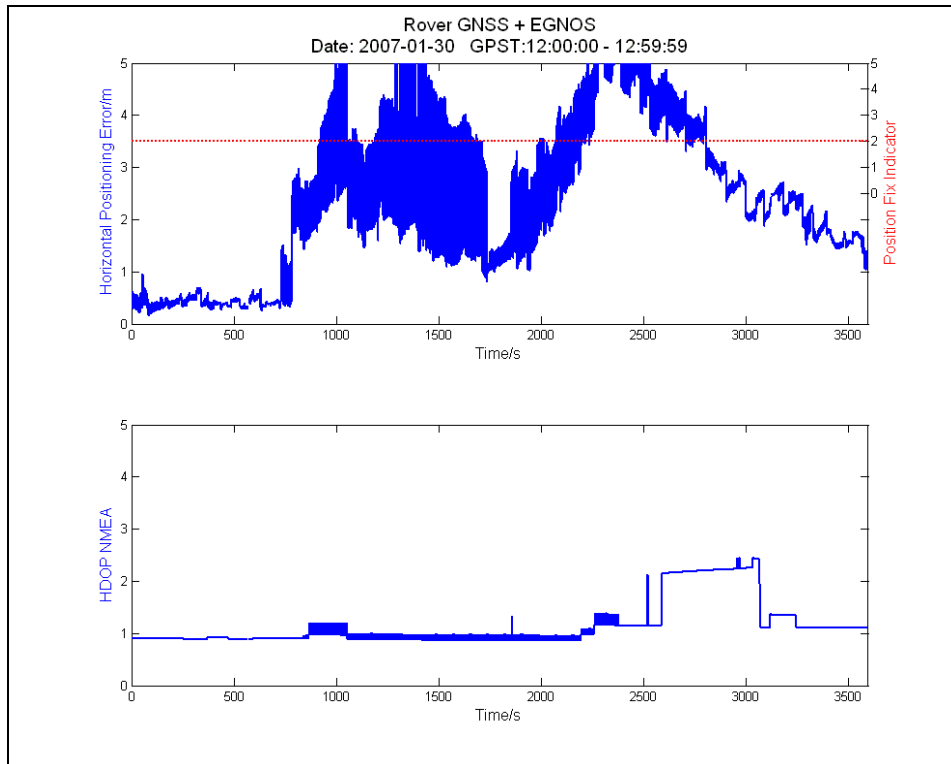
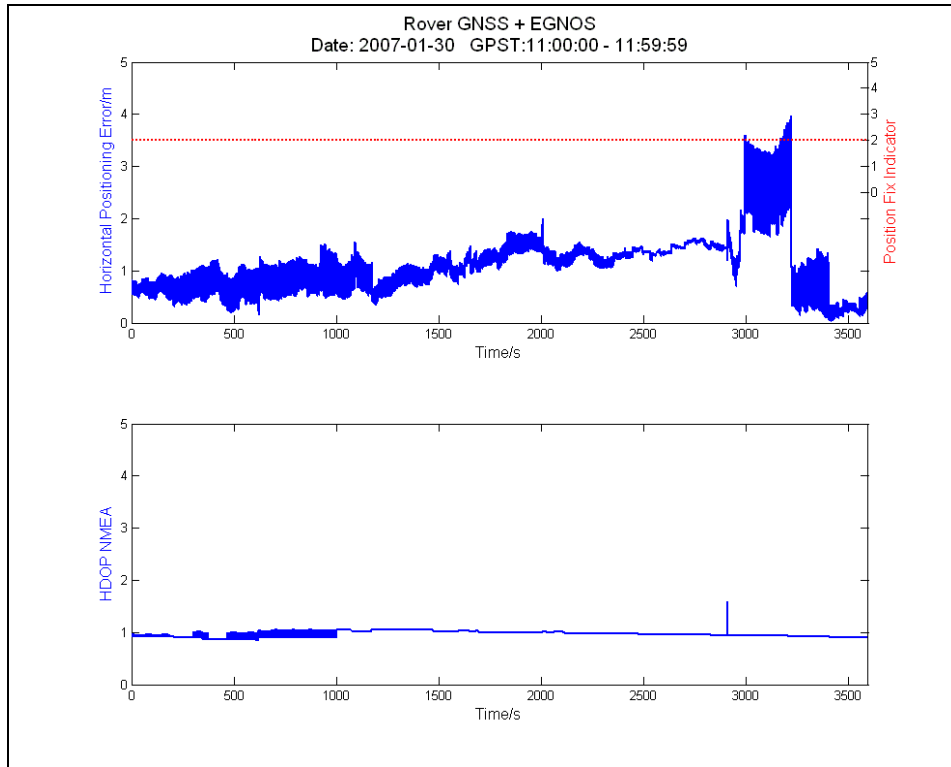


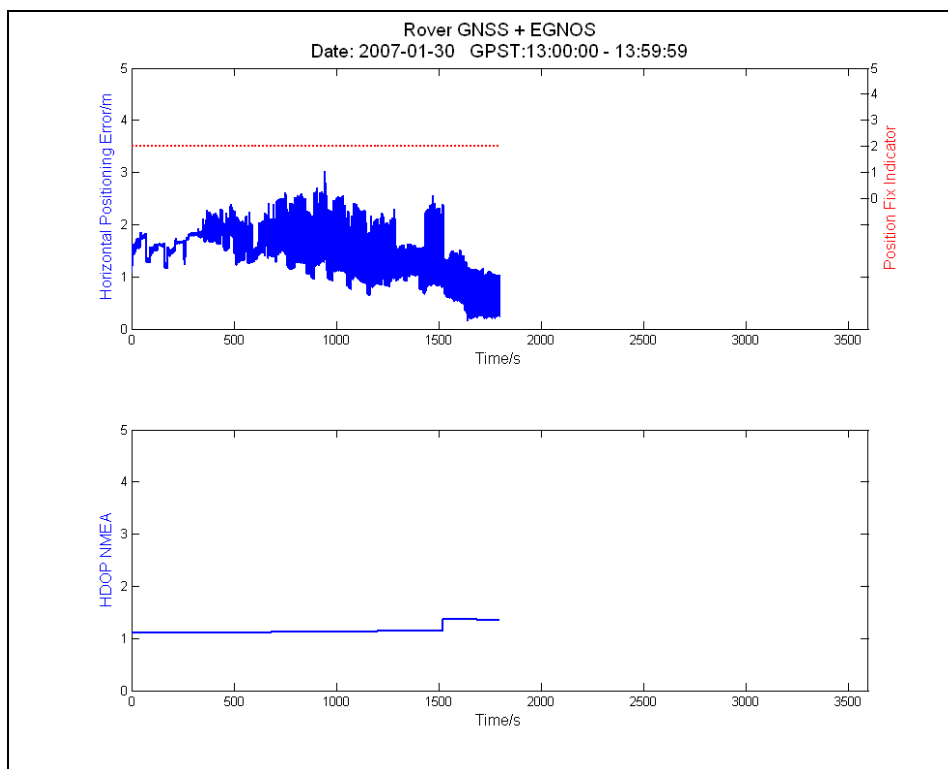




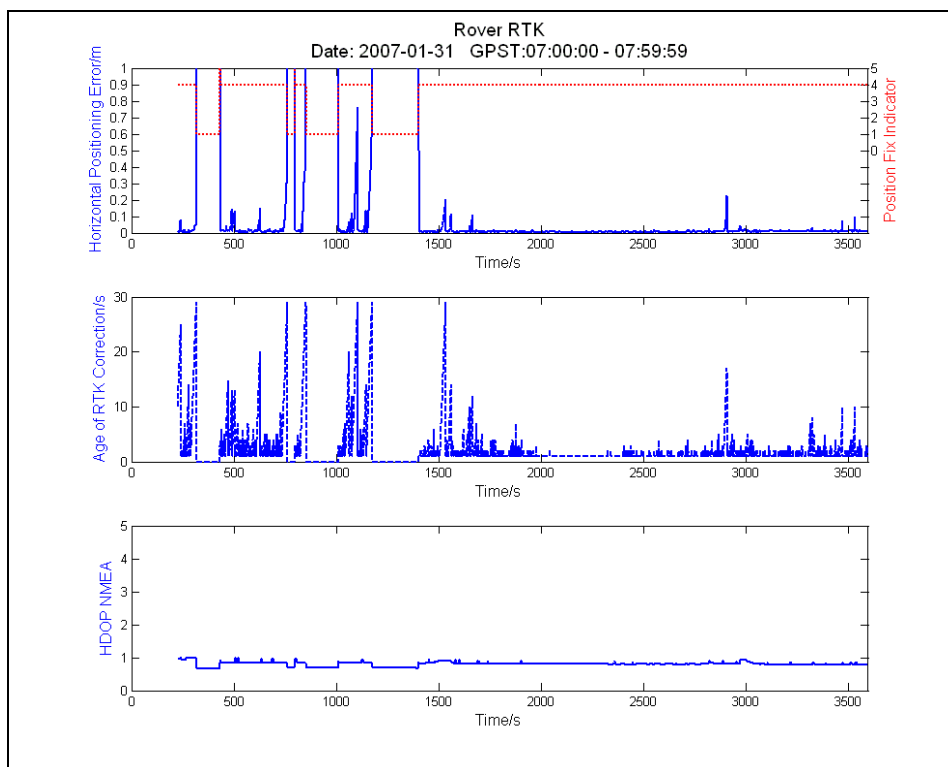


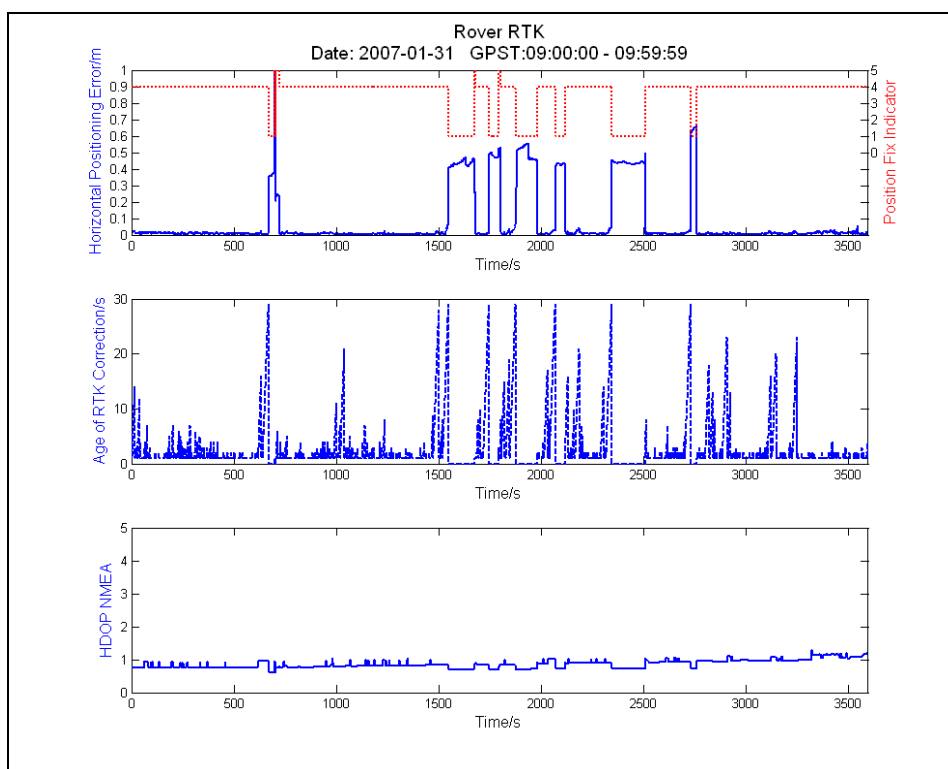
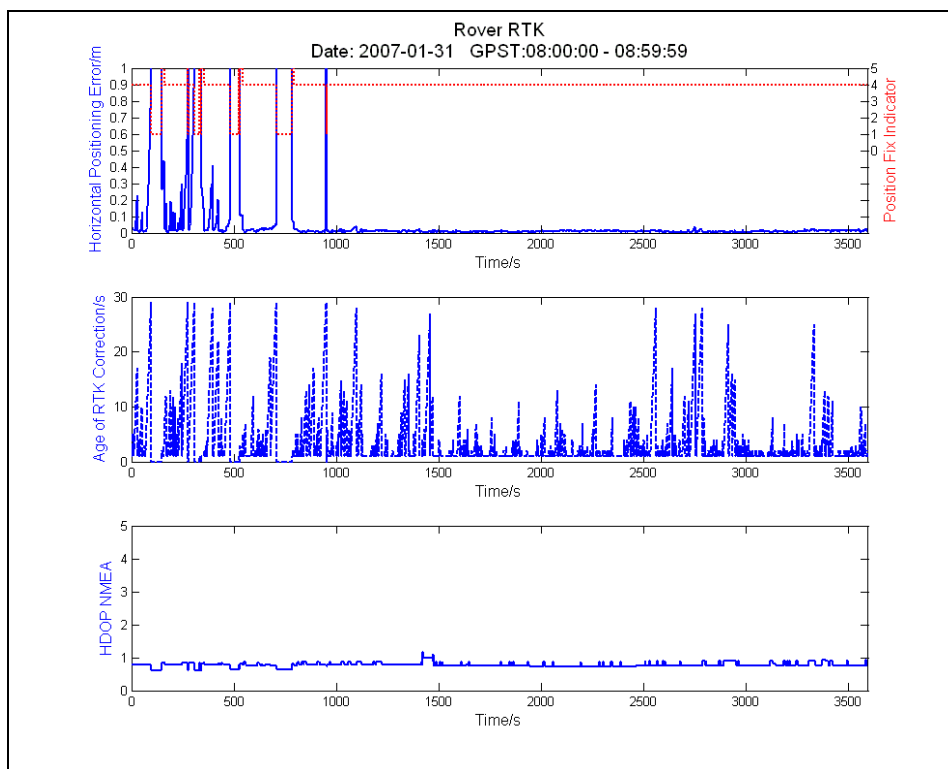


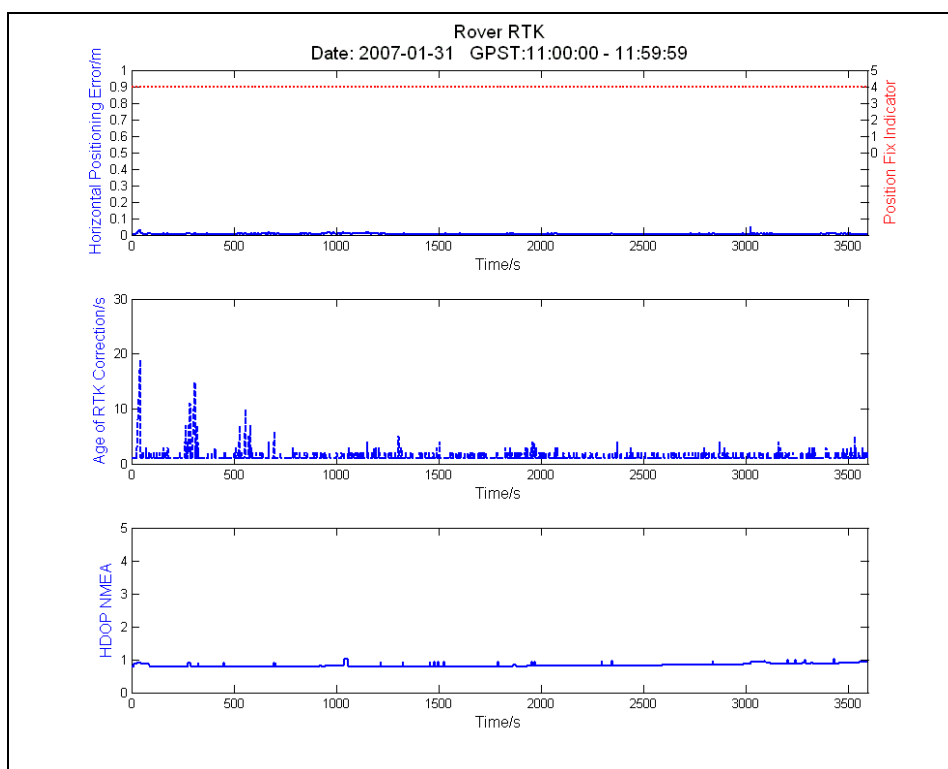
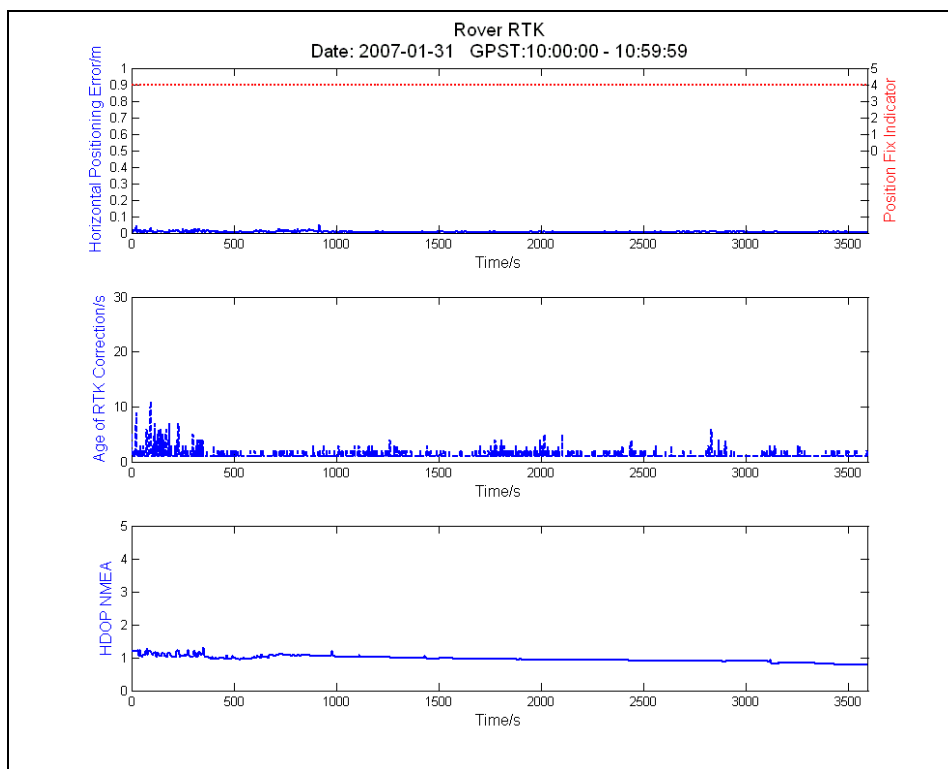


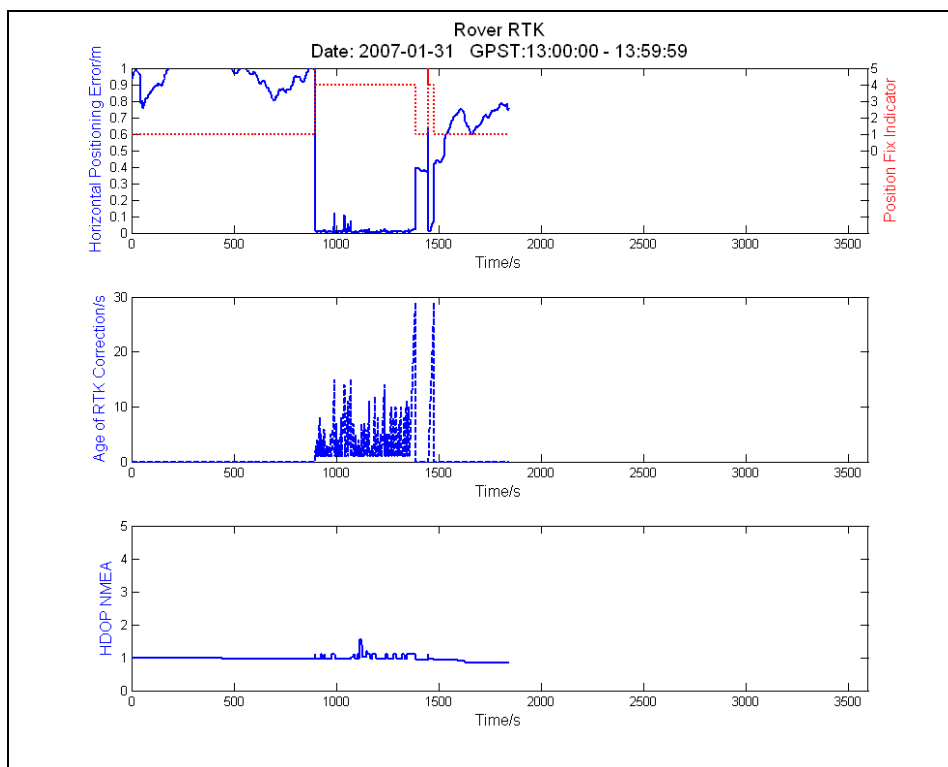
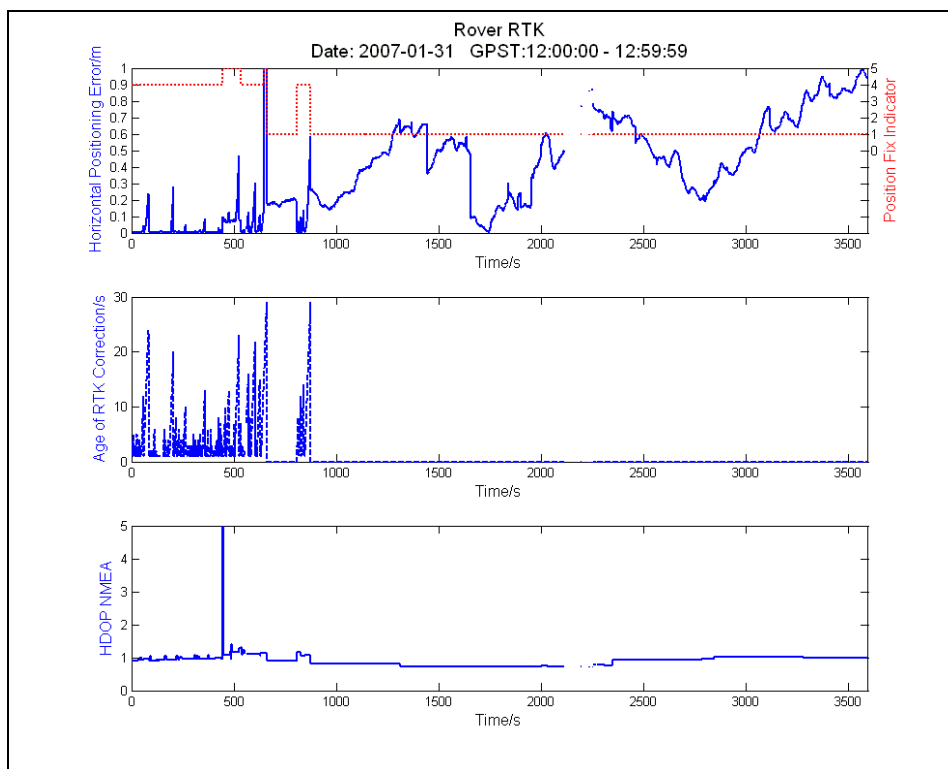


**31-01-2007 (RTK)**

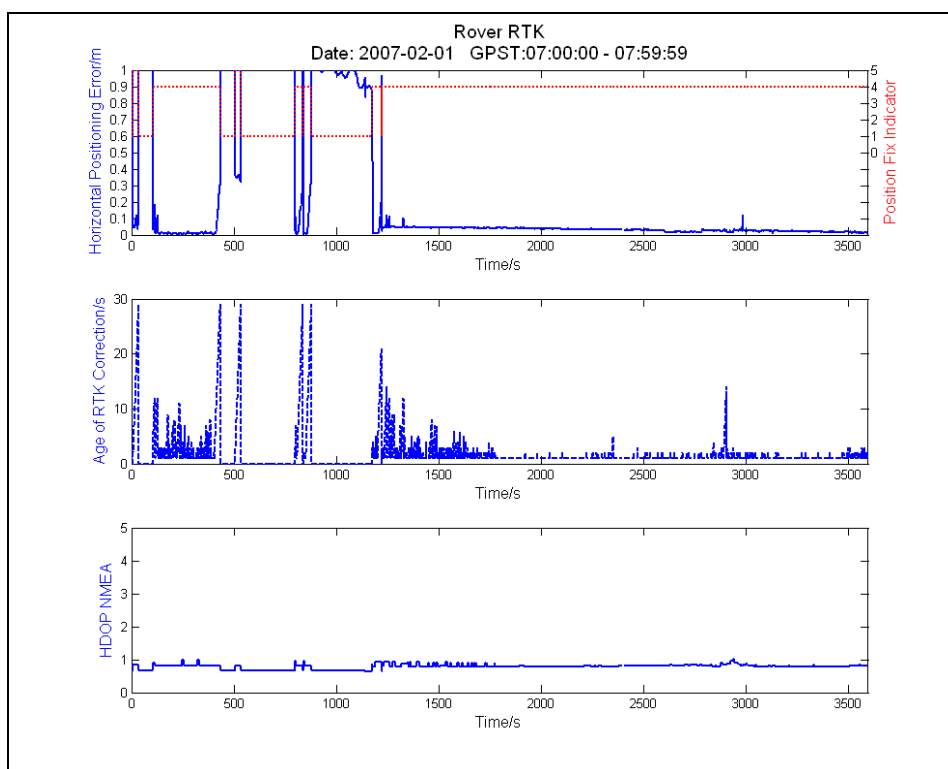
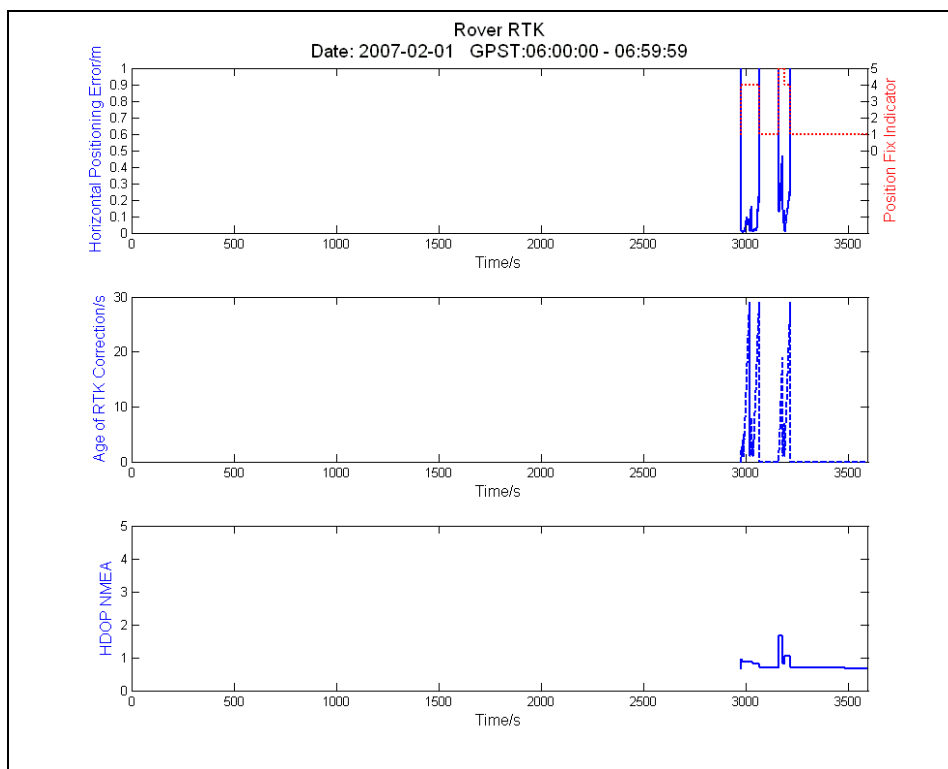


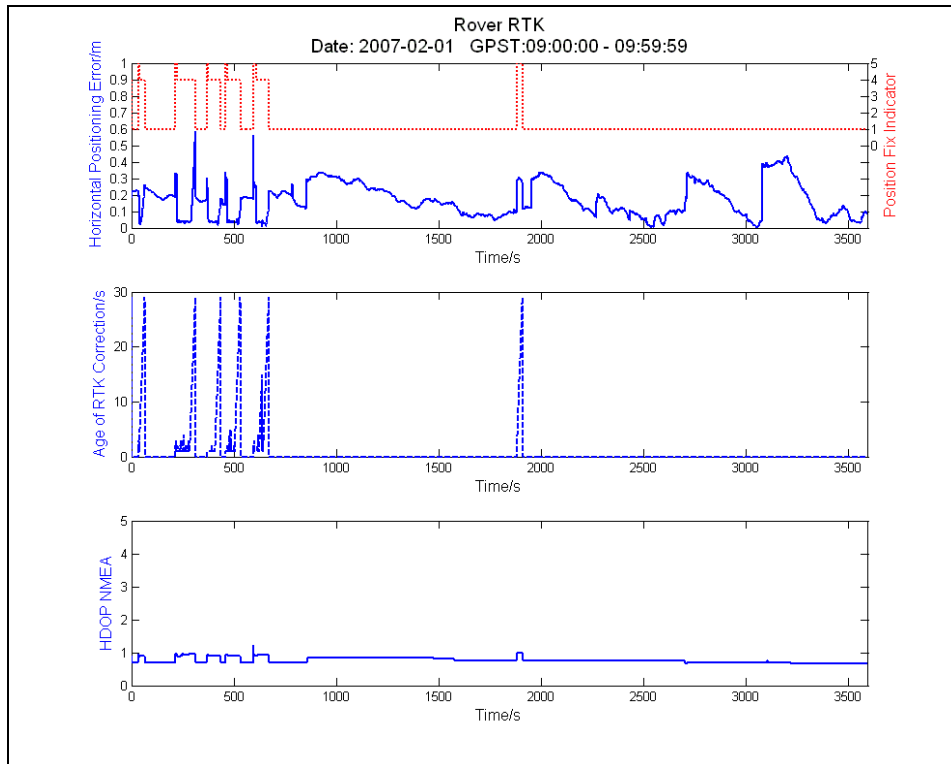
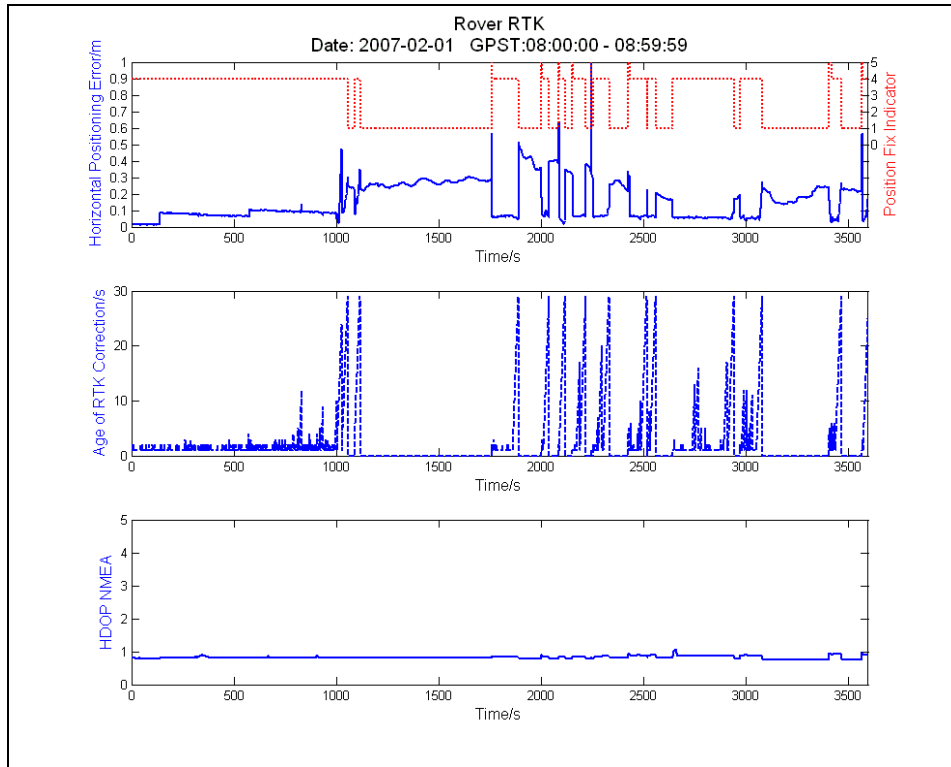




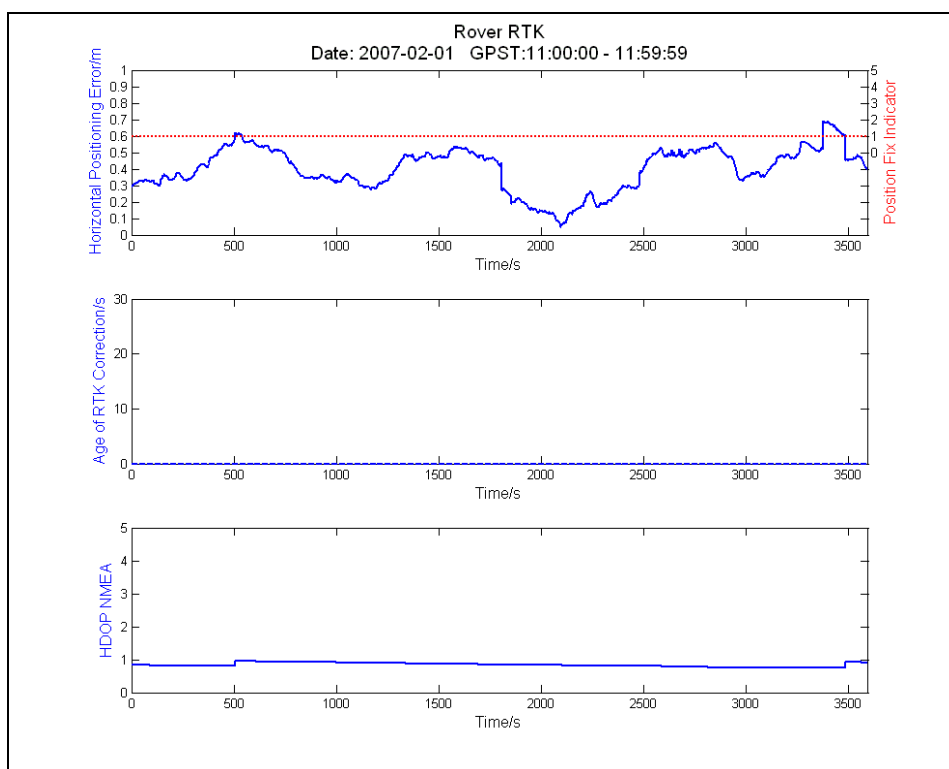
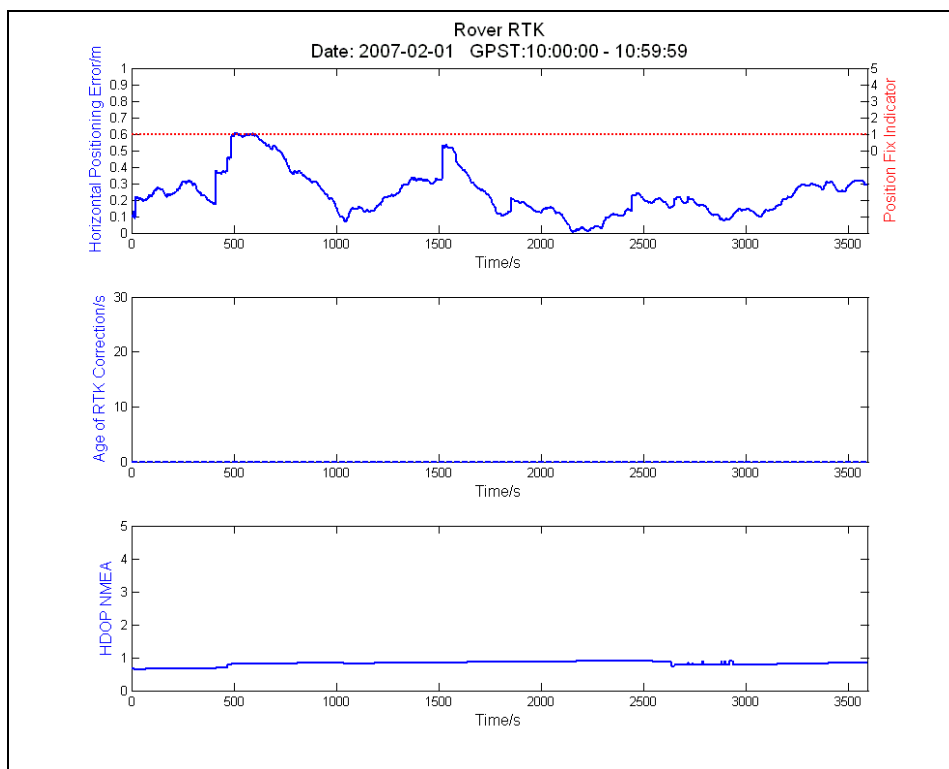


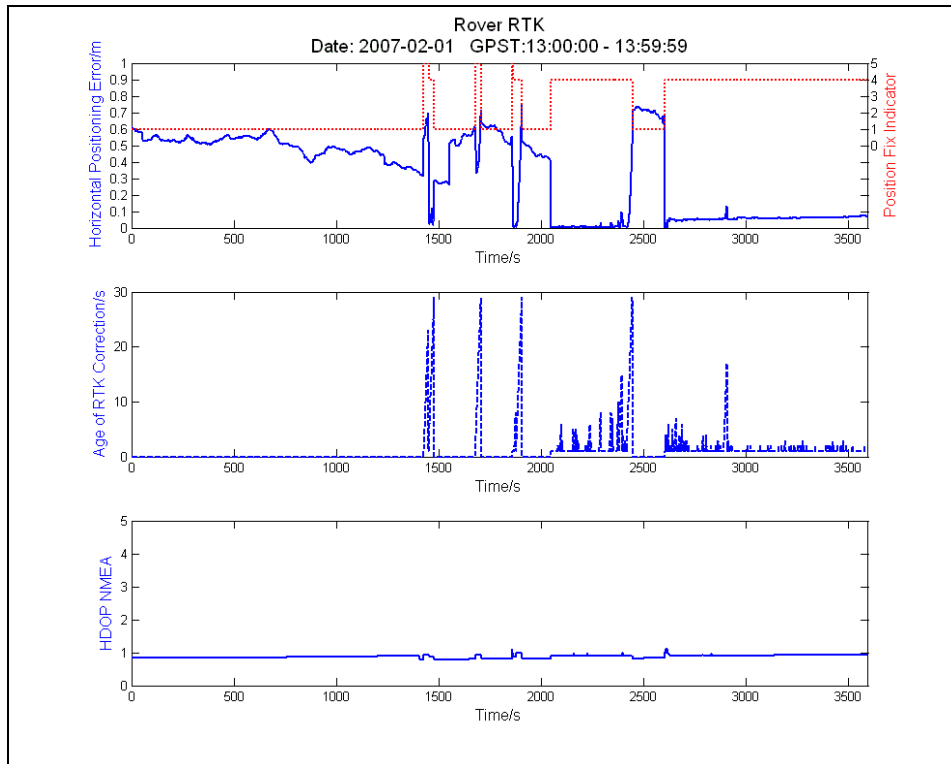
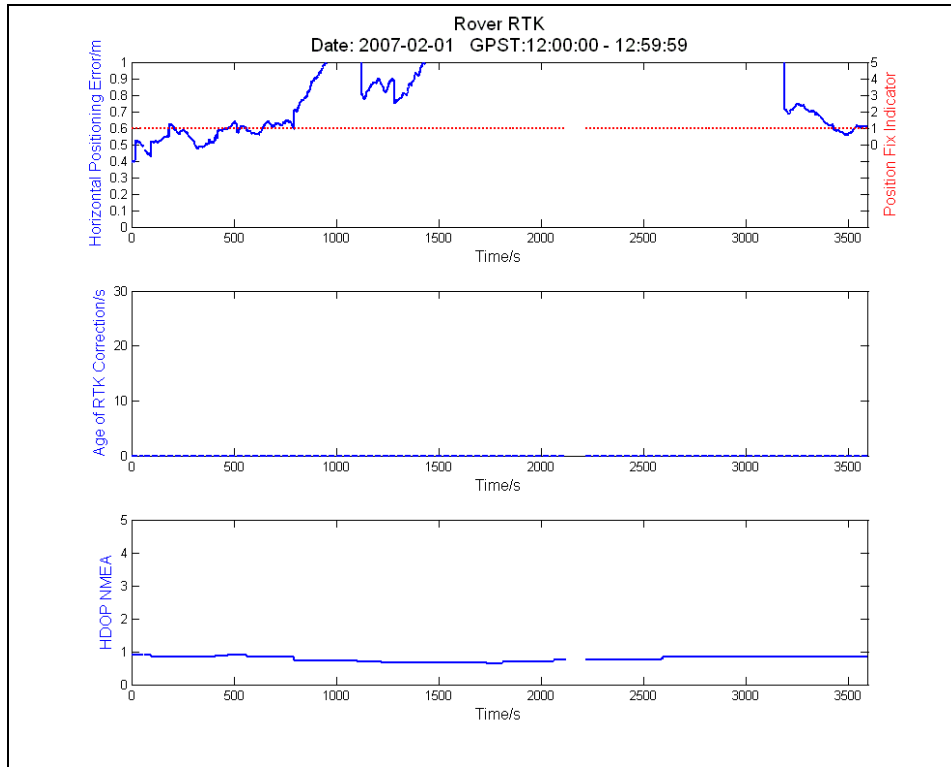
**01-02-2007 (RTK)**

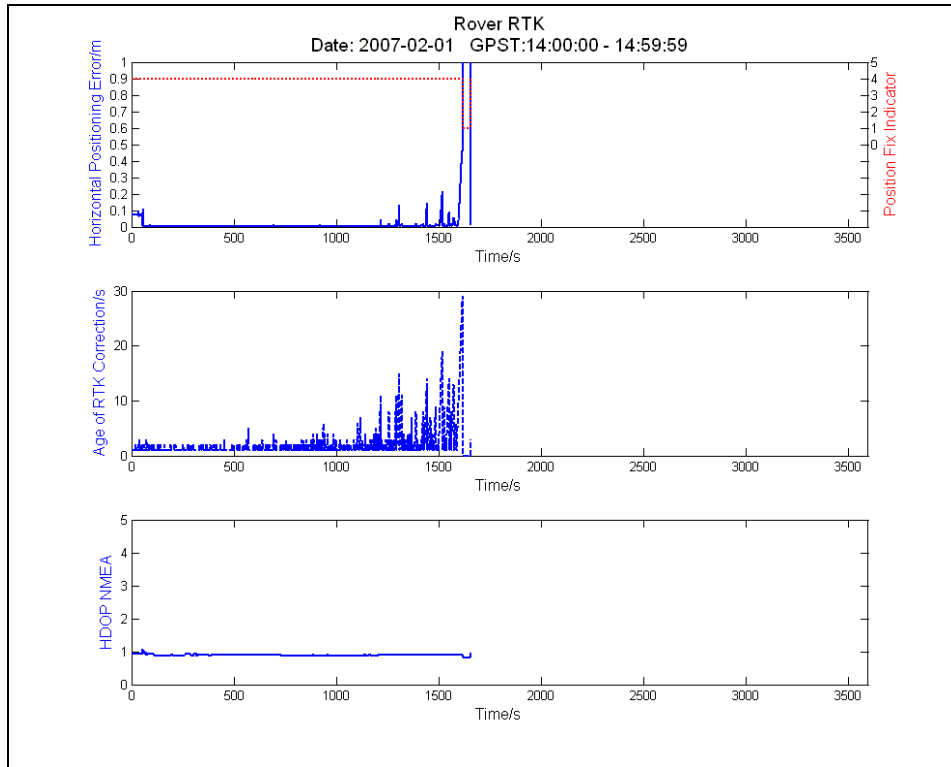




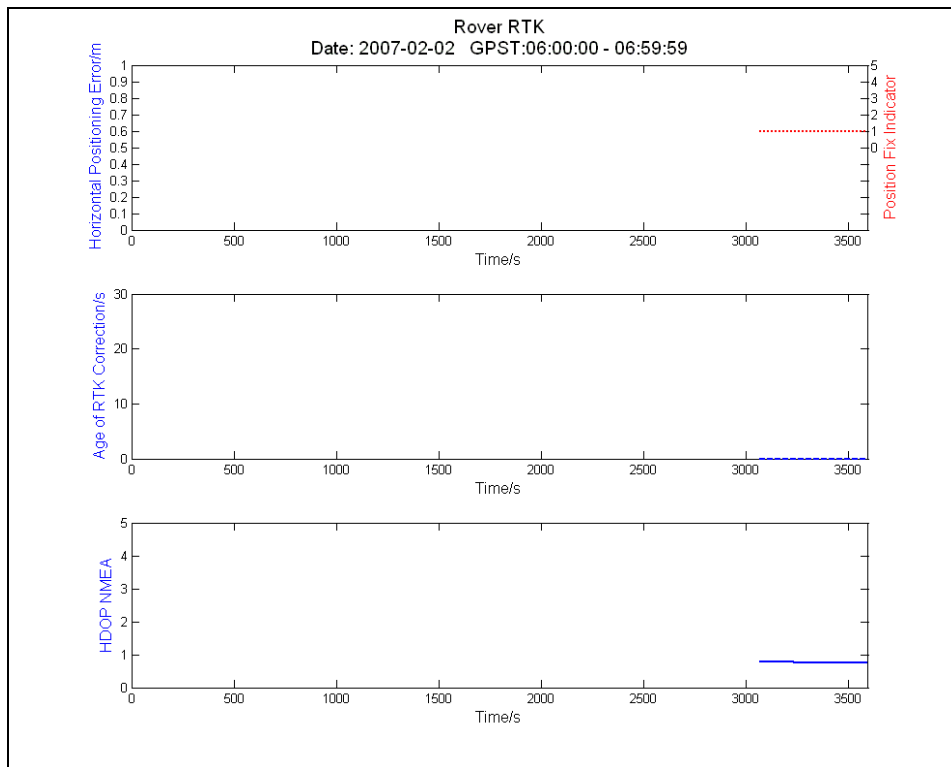


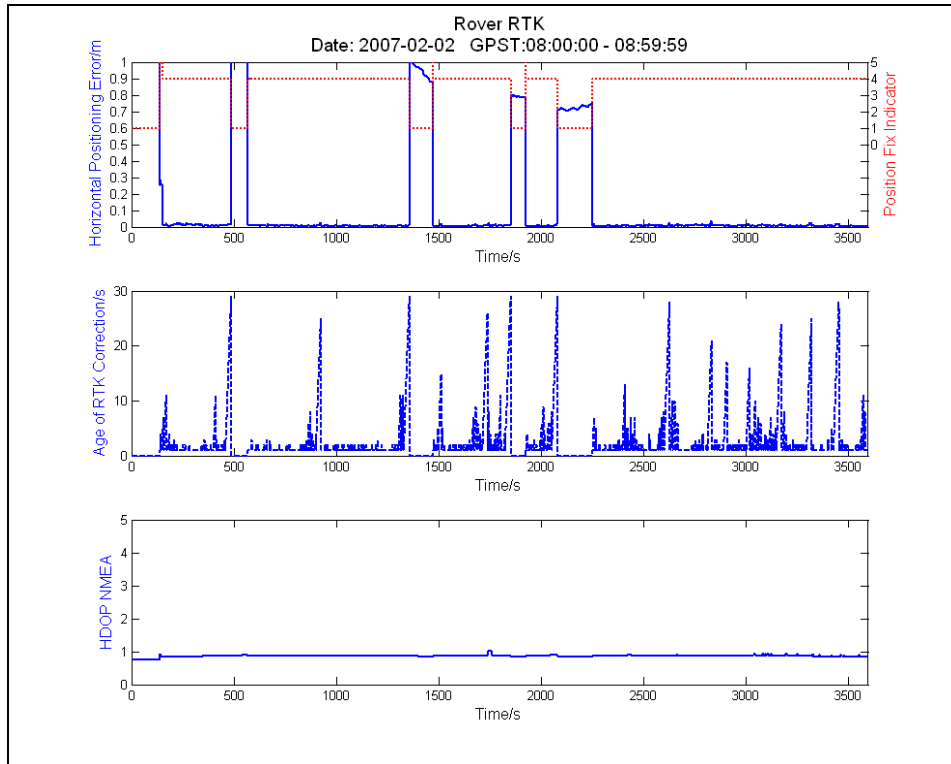
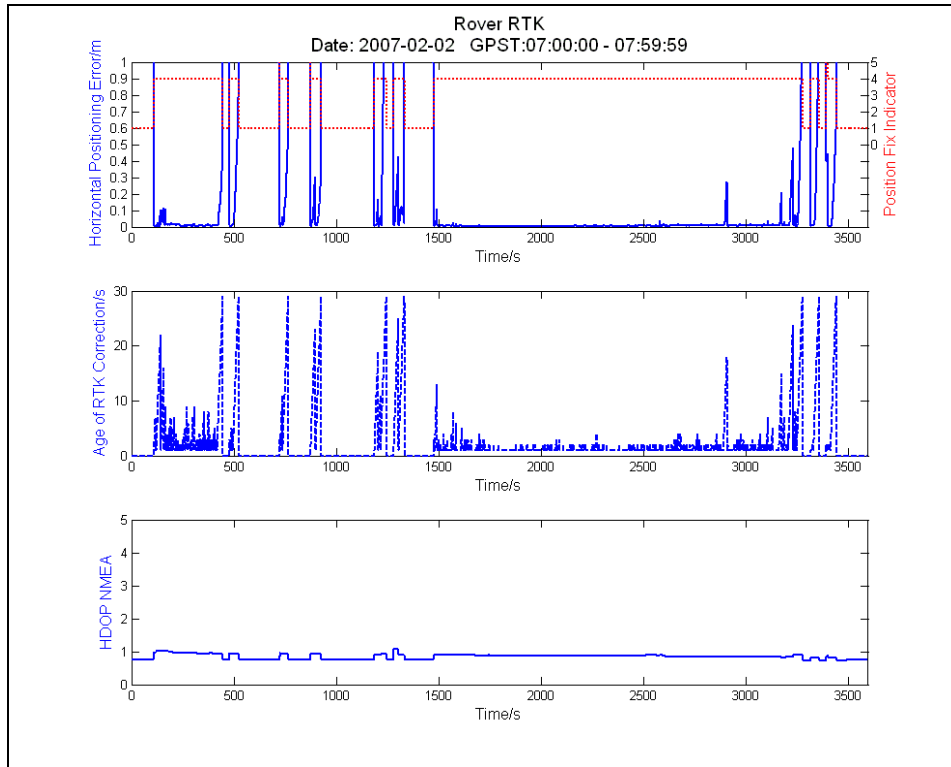


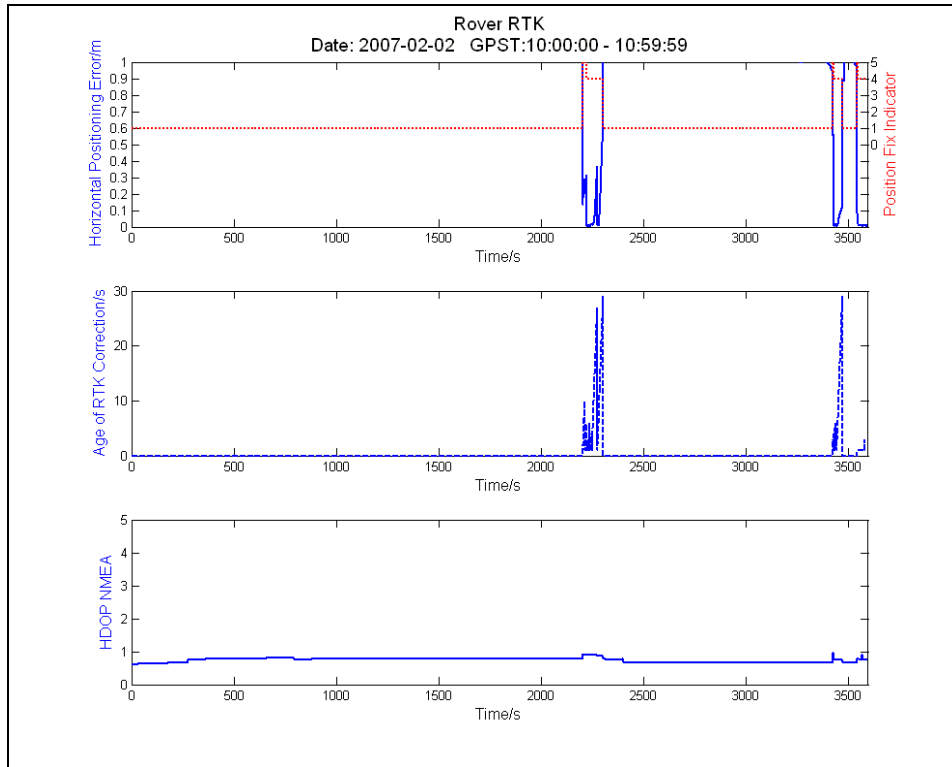
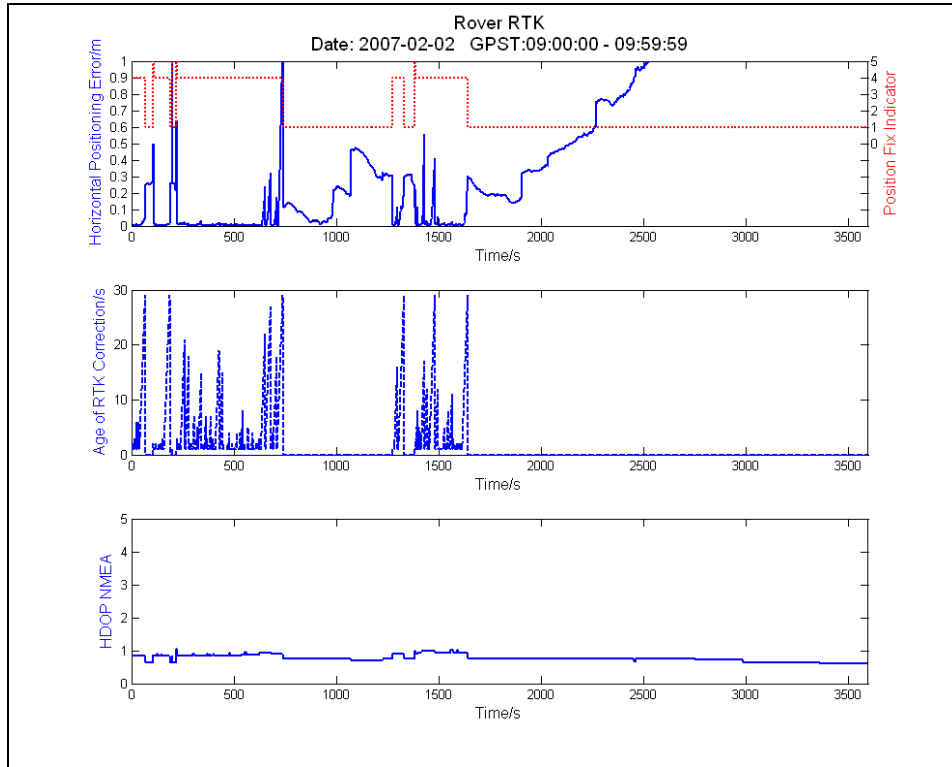


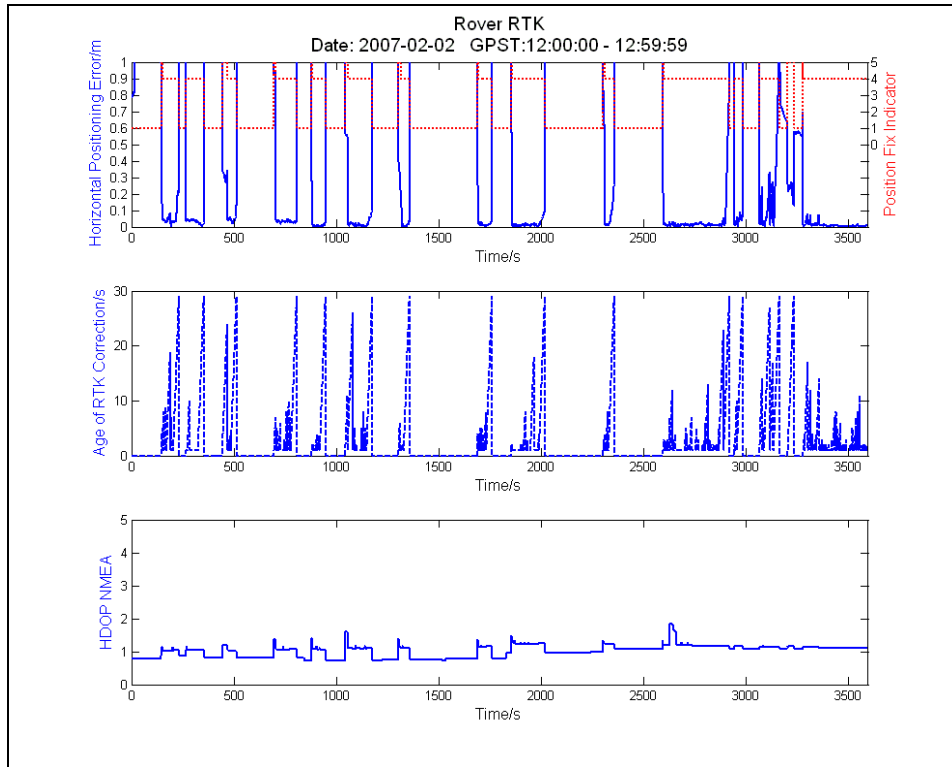
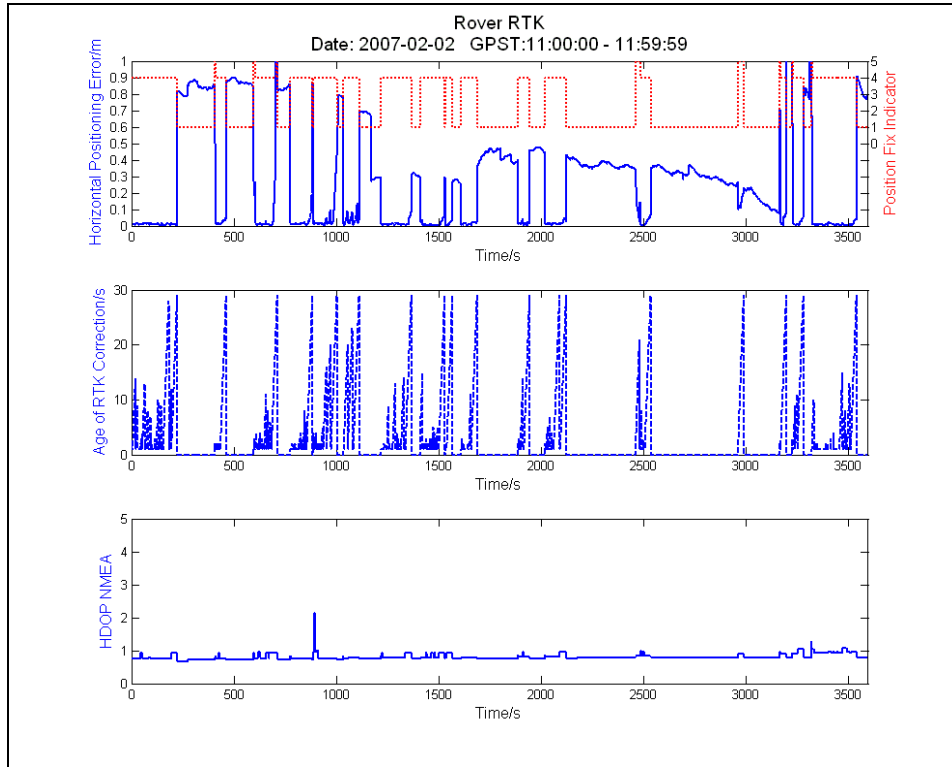


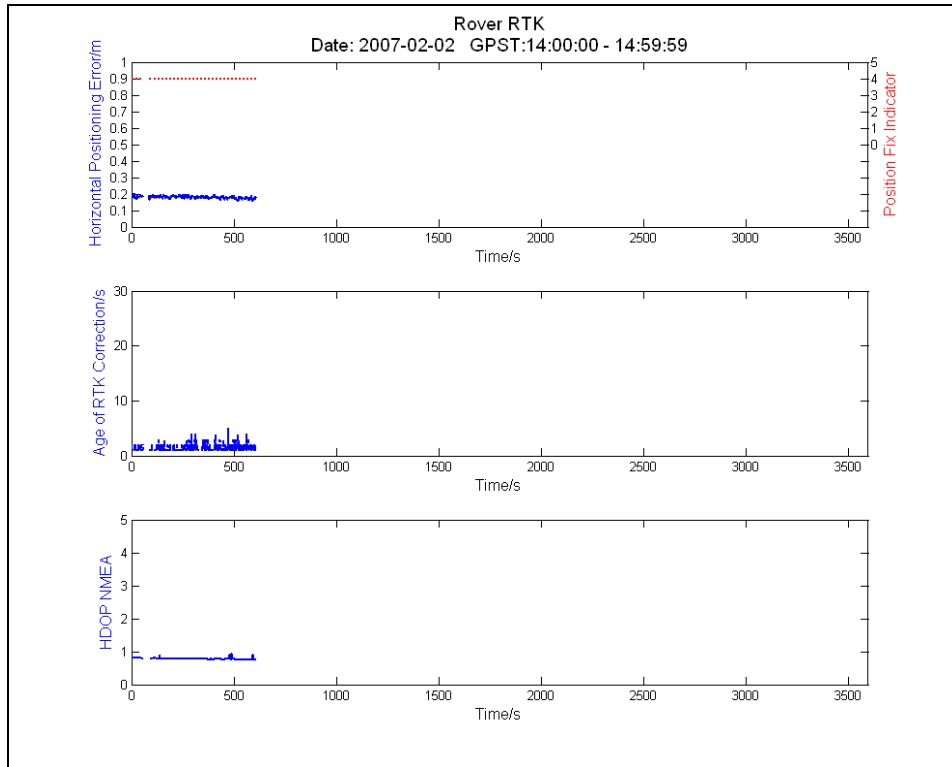
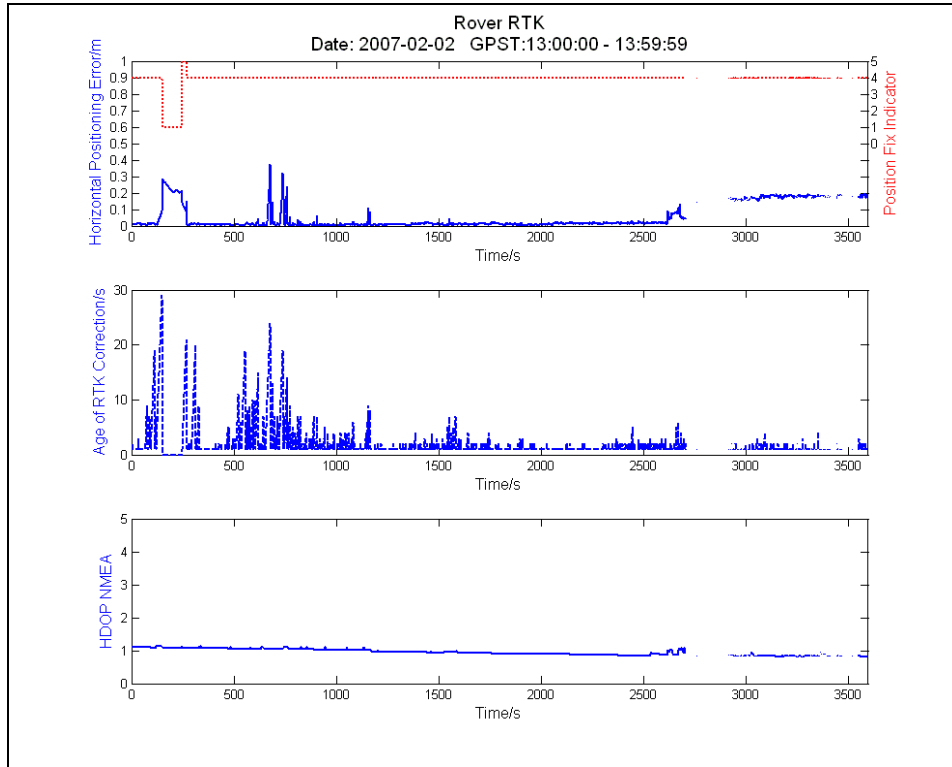
02-02-2007 (RTK)











## B. Wetterdaten Warnemünde

30.01.2007																								
MESZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
UTC	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temp.	4.3	4.2	4.5	4.8	5.3	5.7	5.8	5.6	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.2	6.2	6.1	6.1	-	5.9	5.8	5.6	5.7	5.9	5.6
Wetter	☉☉	☉☉	☉☉	☉☉	☉☉	☉☉	☉☉																	
Niederschlag	0							0							0						0			
Schnee	-																							
Wolken	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀
Wind	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Böen	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Sonne																								
Druck	15.5	14.8	13.8	13.6	13.1	13.2	13.0	13.2	13.7	14.0	14.6	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.4		16.7	17.1	17.3	17.2	17.1	16.6
Trend	↘	↘	↘	↘	↗	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Feuchte	85	88	90	91	93	93	92	92	91	91	91	89	89	90	89	88	88	-	88	88	88	85	83	82

Abb. 7-1: Wetterdaten Warnemünde für den 30.01.2007 (Quelle: www.wetterspiegel.de)

31.01.2007																								
MESZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
UTC	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temp.	5.7	5.6	5.8	5.8	5.6	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5	5.7	5.8	5.7	5.5	5.5	6.0	6.6	6.9	6.8	6.1	6.0	5.9	5.8
Wetter															☉☉	☉☉	☉☉	☉☉						
Niederschlag	0							0							0						2			
Schnee	-																							
Wolken	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀
Wind	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Böen	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Sonne																								
Druck	16.0	15.6	15.0	13.9	13.6	12.9	12.5	12.0	11.0	10.4	09.6	09.0	08.0	07.2	06.2	05.2	04.3	03.4	03.5	04.2	05.4	06.0	06.9	08.3
Trend	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Feuchte	82	82	80	79	81	81	80	80	82	83	82	83	81	80	82	87	89	91	91	91	86	85	86	85

Abb. 7-2: Wetterdaten Warnemünde für den 31.01.2007 (Quelle: www.wetterspiegel.de)

01.02.2007																								
MESZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
UTC	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temp.	5.6	5.4	5.4					4.7	4.5	4.3	4.9	5.8	5.6	5.5	5.3	5.6	5.4	5.5	5.3	6.0	5.9	5.4	5.1	5.2
Wetter																						☉☉	☉☉	
Niederschlag	0														0							0		
Schnee	-																							
Wolken	☀	☀	☀					☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀	☀
Wind	↘	↘	↘					↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Böen	↘	↘	↘					↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Sonne																								
Druck	09.9	10.8	12.4					18.3	19.8	20.9	21.8	22.8	23.2	23.5	23.7	23.8	24.0	24.5	24.7	24.8	25.1	24.8	24.3	24.0
Trend	↗	↗	↗					↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Feuchte	86	88	86					83	84	87	88	86	88	88	89	87	86	86	88	87	85	86	90	91



Abb. 7-3: Wetterdaten Warnemünde für den 01.02.2007 (Quelle: www.wetterspiegel.de)

02.02.2007	
MESZ	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
UTC	23 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
Temp.	5.5 5.9 6.3 5.8 5.5 5.4 5.5 5.4 5.8 6.7 7.1 7.3 7.0 7.1 7.6 7.7 7.2 7.1 6.8 6.9 6.0 5.7 5.7 5.7
Wetter	☹ ☹
Niederschlag	0 0
Schnee	- -
Wolken	☀ ☀
Wind	↘ ↘
Böen	↘ ↘
Sonne	☀ ☀
Druck	23.9 24.0 24.0 24.0 23.9 23.9 24.0 23.9 23.9 23.9 23.4 23.3 22.7 22.1 21.3 20.5 20.0 20.2 19.8 19.6 20.4 20.5 20.5 20.9
Trend	↘ ↘
Feuchte	92 93 93 94 94 94 94 94 94 94 94 94 94 94 94 93 93 94 94 93 91 91 88 86

Abb. 7-4: Wetterdaten Warnemünde für den 02.02.2007 (Quelle: www.wetterspiegel.de)