
ALEGRO


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



Technical Note

Messkampagne 27.05.2008

„Untersuchungen zur Genauigkeit und Verfügbarkeit von RTK Messungen“

Author(s):	Dr. R. Reimer T. Noack	19.12.2008	
Proved by WP leader: by Project leader:			
Version:	1.1		
Document-ID:	ALEGRO-TN-MK3-V01-08- Rover_RTK_v01T1.doc		
Pages:	25		Institute of Communications and Navigation

Änderungsbericht:

Version	Datum	Seiten	Status	Gez. APL	Gez. PL
1.0	24.10.2008	24	Issue 1		
1.1	07.11.2008	25	TTC Korrektur		

Inhalt

1 Einführung	8
2 Messequipment	9
2.1 Rover	9
2.2 ALEGRO Referenzstation GHRO	9
3 Datenbasis	10
3.1 Beobachtungsdaten	10
3.1.1 ROVER	10
3.1.2 ALEGRO Referenzstation GHRO	10
3.2 Navigationsdaten	11
3.3 TTC Daten	11
3.3.1 Beobachtungsdaten in RINEX2 Format	11
3.3.2 Navigationsdaten	11
3.3.3 Positionsdaten in kartesischen XYZ Koordinaten	11
3.3.4 Positionsdaten in geographischen LLH Koordinaten	12
4 Messauswertung	13
4.1 RTK Verfügbarkeit	14
4.2 Alter der Korrektursignale für RTK Positionen	19
4.3 Genauigkeit der NMEA Positionslösungen.....	21
4.4 Genauigkeit der RTK Fix Positionslösungen.....	21
Referenzen	25

Tabellen

Tabelle 2-1 Messausrüstung Rover	9
Tabelle 2-2 GNSS Empfänger Messausrüstung an der Base.....	9
Tabelle 4-1 Statistik zu den NMEA Positionsmessungen	15
Tabelle 4-2 Statistik zu den RTK Positionsdifferenzen am Pier 1 bis 4	24

Abbildungen

Abbildung 1-1: Untersuchungsbereich für den Empfang von RTK Signalen der ALEGRO Referenzstation GHRO (äußere Grenzen)	8
Abbildung 4-1: NMEA GGA Trajektorie des Messfahrt am 27.05.2008	13
Abbildung 4-2: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im gesamten Untersuchungsgebiet	14
Abbildung 4-3: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im industriellen Umfeld des Forschungshafens	16
Abbildung 4-4: Ausfall der RTK fixed Lösung nach Durchfahrt einer Förderbrücke	17
Abbildung 4-5: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im Nahbereich zur Referenz.....	18
Abbildung 4-6: Krananlagen auf Pier 3 (westliche Kaibereich – Schüttguthafen).....	18
Abbildung 4-7: Google Earth mit NMEA bei Krananlage Pier 2.....	19
Abbildung 4-8: Verschiedene Altersbereiche der Korrektursignale für Rover RTK Positionen im gesamten Messbereich	20
Abbildung 4-9: NMEA Positionsdifferenzen zu TTC Referenzwerten	21
Abbildung 4-10: RTK Fix Positionsgenauigkeit im Vergleich zwischen gemessenen NMEA Werten und berechneten TTC Fix Referenzwerten.....	22
Abbildung 4-11: RTK Fix Positionsgenauigkeit im Hafengebiet mit Farbskala	23
Abbildung 4-12: Detailanalyse der RTK Fix Positionsgenauigkeit im Zeitraum von 10 bis 11 Uhr	24

Abkürzungen

ASCII	- „American Standard Code for Information Interchange“
BKG	- Bundesamt für Kartografie und Geodäsie
DGPS	- Differential GPS
GHRO	- Bezeichnung für Referenzstation im Hafen Rostock
GLONASS	- „GLObal NAVigation Satellite System“
GNSS	- „Global Navigation Satellite System“ hier aber: Bezeichnung für Rover in Standalone mit GPS und GLONASS
GPS	- „Global Positioning System“
IGS	- „International GPS Service“
OTF	- „On- the- Fly“ Prozessierung
RINEX	- „Receiver Independent Exchange Format“
RTK	- „Real Time Kinematic“
stdev	- Standardabweichung
TN	- „Technical Note“
TTC	- „Trimble Total Control“ ist aktuelle Version von GEOGENIUS (Postprozessierungs Software)

ALEGRO

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 Hafbereich 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 4 ein.

1 Einführung

Die Zielstellung dieser TN bestand darin, durch landbasierte RTK Messungen im Umfeld des Rostocker Hafens die Nutzbarkeit von RTK auf der Grundlage der von der ALEGRO Referenzstation abgestrahlten Signale zu untersuchen und damit gleichfalls den Nutzungsbereich von RTK-Signalen erfassen zu können.

Dazu wurde eine Reihe von Fahrten mit dem Messfahrzeug des DLR (Rover) unternommen, die hinsichtlich der äußeren Begrenzung in etwa den folgenden dargestellten Bereich abdecken:



Abbildung 1-1: Untersuchungsbereich für den Empfang von RTK Signalen der ALEGRO Referenzstation GHRO (äußere Grenzen)

Weiterhin beschreibt das Dokument die Berechnung von Referenzfahrstrecken (Trajektorien) auf Grundlage der vom Rover-Empfänger während der Messfahrt aufgezeichneten Daten sowie von Referenzdaten der ALEGRO Station GHRO. Die dazu notwendigen Berechnungen und Analysen wurden unter Verwendung der Postprozessierungssoftware TTC („Trimble Total Control“ Version 2.73 vom 24.6.2003) vorgenommen ([Ref 1] und [Ref 2]). Die notwendigen Einstellungen in TTC werden in dieser TN detailliert aufgeführt. Grundlegende Erläuterungen hierzu sind in der TN zur Messkampagne 30.1. – 02.02.2007 ([Ref 3]) enthalten.

Alle in dieser TN verwendeten Zeitangaben sind GPS Zeiten. Die Messungen erfolgten am 27.5. 2008 in der Zeit zwischen 9.00 und 16.00 Uhr GPS Zeit. Das genaue Messprotokoll ist im Anhang aufgeführt.

2 Messequipment

2.1 Rover

Für die Messungen wurde das Messfahrzeug des DLR IKN Neustrelitz (Rover) verwendet. Der Rover wurde dafür mit folgender Messtechnik ausgestattet:

Anzahl	Art	Typ	Bemerkungen
1	Laptop	FSC Lifebook	Steuerung/Monitoring
1	GNSS Empfänger SN: 0724	TOPCON Legacy EGGD+	20 Hz RTK; Aufzeichnung 1Hz NMEA und 10Hz Rohdaten
1	GNSS Antenne	TOPCON PG-A1	
1	Funkmodem	SATEL 3AS (d)	RTK Übertragung
1	70 cm Antenne	SATEL	RTK Übertragung
1	Spektrum Analyzer	Rohde & Schwarz FS300	Frequenzüberwachung

Tabelle 2-1 Messausrüstung Rover

Das eingesetzte Funkmodem der Firma SATEL wurde auf der Empfangsfrequenz 434 MHz betrieben. Zur Überwachung des Funkkanals für den Empfang der RTK Korrektursignale wurde ein Spektrum Analyzer eingesetzt. Die verwendete Mittenfrequenz wurde auf den Funkkanal des RTK Signals (434 MHz) eingestellt. Es wurde mit einer Bandbreite von 80 MHz zur Überwachung des Frequenzbereiches zwischen 393 MHz und 473 MHz gearbeitet.

2.2 ALEGRO Referenzstation GHRO

Als Base wurde die im Rostocker Hafen im Rahmen des Projektes ALEGRO installierte Referenzstation genutzt. Dabei wurde auf die Signale von 2 baugleichen Empfängern zurückgegriffen. Der erste Empfänger lieferte über die Funkstrecke auf 434 MHz RTK-Korrektursignale. Der zweite Empfänger diente als Referenzempfänger zum Aufzeichnen von 20Hz Rohdaten, die für die spätere Auswertung im Post-Prozessing zur Ableitung von Referenztrajektorien benötigt wurden.

Anzahl	Art	Typ	Bemerkungen
1	GNSS Empfänger SN: 0619	TOPCON Legacy EGGD+	Aussendung RTK
1	GNSS Empfänger SN: 0605	TOPCON Legacy EGGD+	Aufzeichnung 20Hz Referenzdaten
1	GNSS Antenne	TOPCON G3-A1	Verwendung für 2 Empfänger

Tabelle 2-2 GNSS Empfänger Messausrüstung an der Base

3 Datenbasis

3.1 Beobachtungsdaten

Für die Auswertung sind sowohl die gewonnenen Beobachtungsdaten des Rovers als auch die Beobachtungsdaten der Referenzstation GHRO aufgezeichnet worden. Alle im Folgenden aufgeführten Daten sind auf dem IKN internen Fileserver *Nzknnasvw2k034* unter dem Hauptverzeichnis

[\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock](#)

abgelegt.

3.1.1 ROVER

Auf dem Rover wurden Rohdaten (10 Hz) sowie NMEA Daten (1Hz) in den Datenformaten

- ZDA – UTC Time and Date
- GGA – Global Positioning System Fix Data
- GNS – GNSS Fix Data
- GRS – GNSS Range Residuals
- GSA – GNSS DOP and Active Satellites
- GST – GNSS Pseudorange Error Statistics
- GSV – GNSS Satellites in View

aufgezeichnet.

Alle Rover Messdaten sind unter folgendem Verzeichnis abgelegt:

[\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock\RTK-Rover\Messdaten](#)

Untersuchungen zur Vollständigkeit der 10Hz Rohdaten haben eine **vollständige Datenbasis** in der Zeit 27.5.2008 zwischen 09:04:59,5 bis 15:59:59,9 Uhr GPS Zeit ergeben.

Für die Analyse mittels TTC wurden die Rohdaten zudem später auf 1Hz gesampelt und in das RINEX2 Format konvertiert. Diese Daten sind ebenfalls im obigen Messdatenverzeichnis abgelegt.

3.1.2 ALEGRO Referenzstation GHRO

Seitens der ALEGRO Referenzstation wurden Rohdaten mit 1Hz und 20 Hz aufgezeichnet.

Die Base-Messdaten sind unter folgendem Verzeichnis abgelegt:

[\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock\REF\GHRO](#)

Untersuchungen zur Vollständigkeit der 1Hz Rohdaten haben eine **vollständige Datenbasis** in der Zeit 27.5.2008 zwischen 09:00:00 bis 15:59:59,9 Uhr GPS Zeit ergeben.

Für die Analyse mittels TTC wurden die 1Hz Rohdaten in das RINEX2 Format konvertiert. Diese Daten sind ebenfalls im Messdatenverzeichnis abgelegt.

3.2 Navigationsdaten

Als Datengrundlage für die Positionsberechnungen mittels TTC war die Aufzeichnung von Orbitparametern in Form von Ephemeriden für alle verwendeten GPS Satelliten (GLONASS wird bei allen Untersuchungen ausgeschlossen) erforderlich. Dazu wurde vollständige Navigationsdaten des BRDC aus dem BKG Archiv:

<ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/BRDC/2008/148/>

bezogen.

3.3 TTC Daten

3.3.1 Beobachtungsdaten in RINEX2 Format

Zur Bestimmung von Referenztrajektorien mittels TTC wurden als Beobachtungsdaten die Range- und Phasenmessungen auf 2 Trägern für GPS (GLONASS wird bei allen Untersuchungen ausgeschlossen) im RINEX2 Format genutzt.

Da für die Bewertung von Messergebnissen 1Hz NMEA Daten vorliegen, wurden die hochrätigen Rohdaten (10 bzw. 20Hz) bereits bei dem Prozess zur Erzeugung von TTC RINEX Daten auf 1Hz gesampelt. Für spezielle Untersuchungen können allerdings auch auf Basis von 10 und 20Hz erzeugte TTC RINEX2 Daten genutzt werden.

3.3.2 Navigationsdaten

Für alle Berechnungen wurde die Datei BRDC0148.08N verwendet, die im Verzeichnis :

\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock\NAV

abgelegt ist.

3.3.3 Positionsdaten in kartesischen XYZ Koordinaten

Die mittels TTC in kartesischen XYZ Koordinaten ermittelten Referenzpositionen sind unter :

\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock\RTK-Rover\TTC_Result

abgelegt.

Die erzeugte ASCII Datei GRTK148Z.POS hat folgende Struktur:

In der Headerzeile steht die Datumstransformation in WGS84 Koordinaten :

```
Datum          a          1/f          dx          dy          dz          rx          ry          rz          scale
#datum: WGS_84 6378137.000 298.25722356 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 1.00000000000
```

In den folgenden Zeilen stehen die Zeit, die kartesischen Koordinaten und Zusatzdaten:

```
Zeit(sec)      X          Y          Z          sig X sig Y sig Z vX      vY      vZ PDOP # Station Typ
208800.000192 3657270.797 783242.706 5149126.431 0.038 0.017 0.037 0.000 0.000 0.000 2.0 9 ???????? FIXED
208801.000192 3657274.031 783245.251 5149123.894 0.040 0.018 0.038 0.000 0.000 0.000 2.0 9 ???????? FIXED
```

- Im Zeitwert (GPS weeksec) mit 6 Dezimalstellen ist der Uhrenoffset mit berücksichtigt. Nicht berechnete Positionen sind an Zeitsprüngen zu erkennen.
- Die kartesischen Koordinaten für X, Y und Z sind in Metern angegeben.
- Die sig-Werte beschreiben die Messunsicherheiten in X, Y und Z und sind in Metern angegeben.

- Die Geschwindigkeitskomponenten vX, vY und vZ kennzeichnen normalerweise den Geschwindigkeitsvektor in X, Y und Z Richtung in Meter/Sekunde. In der verwendeten TTC Version werden diese Werte immer mit Null ausgegeben.
- Der PDOP Wert ist ohne Einheit und kennzeichnet die Qualität der Satellitengeometrie für die 3D-Positionslösung.
- # kennzeichnet die Anzahl der für die Positionslösung benutzten Satelliten.
- Als Stationsname ist immer „????????“ eingetragen.
- Der Typ kennzeichnet das Verfahren der Positionierung. FIXED steht für erfolgreiche Phasen- Positionierung¹.

3.3.4 Positionsdaten in geographischen LLH Koordinaten

Die mittels TTC in kartesischen XYZ Koordinaten ermittelten Referenzpositionen sind unter :

[\\knnzfs01\NZ_Projects\ALEGRO\Messkampagnen\080527_Rostock\RTK-Rover\TTC_Result](#)

abgelegt.

Die erzeugte ASCII Datei GRTK148R.POS hat die folgende Struktur:

In der Headerzeile steht wieder die Datumstransformation in WGS84

```
Datum          a          1/f          dx          dy          dz          rx          ry          rz          scale
#datum: WGS_84 6378137.000 298.25722356 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 1.0000000000
```

In den folgenden Zeilen stehen die Zeit, die geografischen Koordinaten und Zusatzdaten:

```
Zeit(sec)      Lat      Long      Height  sig_N  sig_E  sig_H  PDOP  # Station  Typ
208800.000192  54.189057349  12.087894072  51.461  0.038  0.017  0.037  2.0  9 ???????? FIXED
208801.000192  54.189017088  12.087921821  51.565  0.040  0.018  0.038  2.0  9 ???????? FIXED
```

- Im Zeitwert (GPS weeksec) mit 6 Dezimalstellen ist der Uhrenoffset mit berücksichtigt. Nicht berechnete Positionen sind an Zeitsprüngen zu erkennen.
- die geografischen Koordinaten für Breite und Länge sind in Grad (+ für Nord bzw. Ost) und die der Höhe in Meter angegeben
- Die sig-Werte beschreiben die Messunsicherheiten in X, Y und Z und sind in Metern angegeben.
- Der PDOP Wert ist ohne Einheit und kennzeichnet die Qualität der Satellitengeometrie für die 3D-Positionslösung.
- # kennzeichnet die Anzahl der für die Positionslösung benutzten Satelliten.
- Als Stationsname ist immer „????????“ eingetragen.
- Der Typ kennzeichnet das Verfahren der Positionierung. FIXED steht für erfolgreiche Phasen- Positionierung.

¹ Wenn bei der Prozessierung AUTO gewählt wurde, kann hier auch DGPS stehen, wenn keine Phase Positionierung möglich war.

4 Messauswertung

Der am 27.05.2008 befahrene Messbereich unter Zugrundelegung aller Positionslösungen aus 1 Hz NMEA GGA Daten ist dem nachfolgenden Plot zu entnehmen. Die in MAGENTA eingefärbte Linienführung zeigt dabei die Wegstrecke, die der Rover über den gesamten Messzeitraum zurückgelegt hat. Die gelbe Markierung kennzeichnet die Position der ALEGRO Referenzstation. Aussagen zur Messgenauigkeit können dieser Grafik nicht entnommen werden.



Abbildung 4-1: NMEA GGA Trajektorie des Messfahrt am 27.05.2008

4.1 RTK Verfügbarkeit

Auf der Grundlage der in den 1 Hz NMEA GGA Daten enthaltenen Flags zur Signalisierung des Verfahrens der Positionslösung während der Messungen mit

- Flag = 1 → CA Code basierte Positionslösung mit Trägerphasenglättung
- Flag = 5 → RTK Float Positionslösung
- Flag = 4 → RTK Fix Positionslösung

wird im nachfolgenden Plot jede NMEA Position entsprechend dem zugeordneten Flag farblich codiert dargestellt.

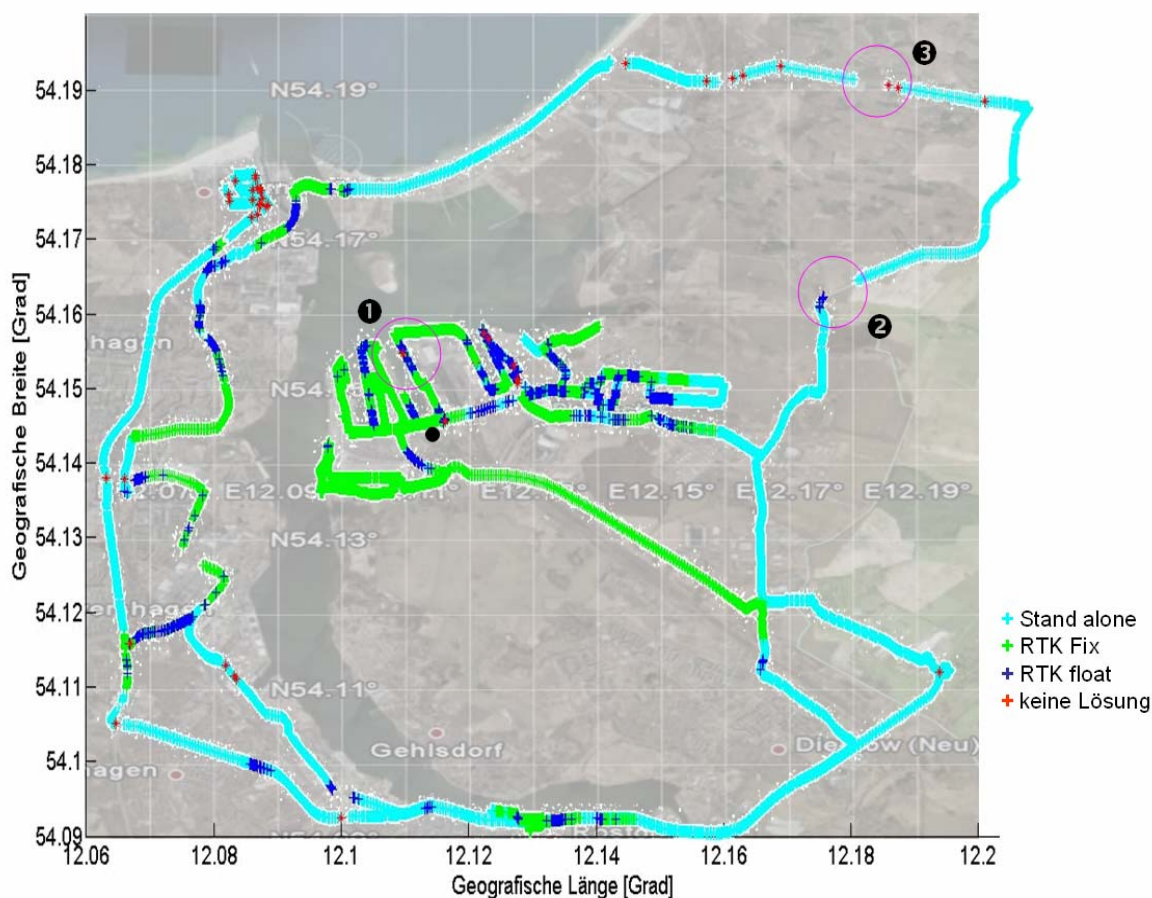


Abbildung 4-2: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im gesamten Untersuchungsgebiet

Alle RTK fix Lösungen (Flag =4) sind in grün dargestellt. Für Lösungen im RTK Float Modus (Flag = 5) erfolgt die Ausgabe in dunkelblau. Alle rein codebasierten Lösungen (Flag =1) sind hellblau gezeichnet. Datenausfälle, d.h. Zeitpunkte an denen der Rover-Empfänger keine Position ausgeben konnte, werden durch einen roten Stern markiert. Die Referenzstation befindet sich etwa an der Stelle des Schwarzen Punktes.

Zunächst ist aus der Grafik erkennbar, dass im näheren Umfeld der Referenzstation zwar an vielen Stellen RTK Fix Lösungen ermittelt wurden, es jedoch in dedizierten Bereichen zu float oder gar nur codebasierten Lösungen kommt bis hin zu Ausfällen in der Positionsbestimmung (siehe dazu z.B. den unter ❶ markierten Bereich).

Weiterhin sind aus der Grafik auffällige Positionslücken zu erkennen. Im Bereich der Markierung ② zeigen sich solche Ausfälle nach einer RTK float Lösung. Nähere Analysen haben hier ergeben, dass es zu keinem realen Ausfall der Positionslösung gekommen ist, sondern dass der Empfänger die berechnete RTK Float Positionslösung über einen längeren Zeitraum nicht geändert hat, obwohl sich das Fahrzeug bewegt hat. Teilweise wird bis zu 20 Sekunden im float Mode die gleiche Position ausgegeben, so dass daraus Abweichungen zur realen Position von bis zu 500 Metern entstehen. Dies ist als Bug in der Empfängerfirmware zu werten und muss mit dem Empfängerhersteller geklärt werden.

Die Ausfälle nach einer codebasierten Lösung im Bereich der Markierung ③ lassen sich derzeit nicht erklären. Die Ausbreitungsbedingungen an dieser Stelle zeigen keinerlei Einschränkungen z.B. hinsichtlich Baumbewuchs oder Ähnlichem. Hierzu wäre prinzipiell eine Wiederholungsmessung notwendig. Da dieser Bereich allerdings nicht mehr dem Forschungshafen zuzuordnen ist und sich zudem dort auch keine RTK Signale der Referenzstation mehr empfangen lassen, werden diese Untersuchungen nicht im Rahmen von ALEGRO fortgeführt.

Für den gesamten Messzeitraum ergibt sich hinsichtlich der aus den NMEA Daten gewonnenen Positionslösungen folgende Statistik:

Zeitintervall	Anzahl Sekunden	Anzahl Positionslösungen			keine Position	Anzahl Datenlücken
		fixed	float	codebasiert		
09:04:58 -09:59:45	3288	2604	490	193	1	1
09:59:46 -10:59:45	3600	3420	89	90	1	1
10:59:46 -11:59:45	3600	1643	421	1510	26	7
11:59:46 -12:59:45	3600	2483	143	974	0	0
12:59:46 -13:59:45	3600	1083	341	2135	41	8
13:59:46 -14:59:45	3600	848	211	2539	2	1
14:59:46 -15:59:45	3600	580	301	2622	97	24
Summe absolut	24888	12661	1996	10063	168	
Summe Prozent		50.87	8.02	40.43	0.68	

Tabelle 4-1 Statistik zu den NMEA Positionsmessungen

Aus Tabelle 1 wird erkennbar, dass unter Bezug auf den gesamten Untersuchungsbereich rund 50% mit RTK Fix Lösungen abgedeckt werden können. 8% entfallen auf RTK Float Lösungen. Eine rein codebasierte Lösung wird zu rund 40% im Untersuchungsgebiet erzielt. Stellen, an denen keine Position ermittelt werden konnte liegen im Bereich unter 1%. In der Gesamtbetrachtung ist zu beachten, dass der Hafbereich im wesentlichen während der ersten beiden Zeitintervalle durchfahren wurde und dort zu rund 88% eine RTK Fix Lösung, 8% eine RTK Float-Lösung, 4% eine codebasierte Lösung, 0,02% keine Lösung erzielt wurde.

Es macht daher Sinn, sich vor allem auf den industriellen Bereich des Forschungshafens, der für Fahrzeugbewegungen im Sinne des intermodalen Verkehrs von Interesse ist (siehe nachfolgende Abbildung) zu konzentrieren.

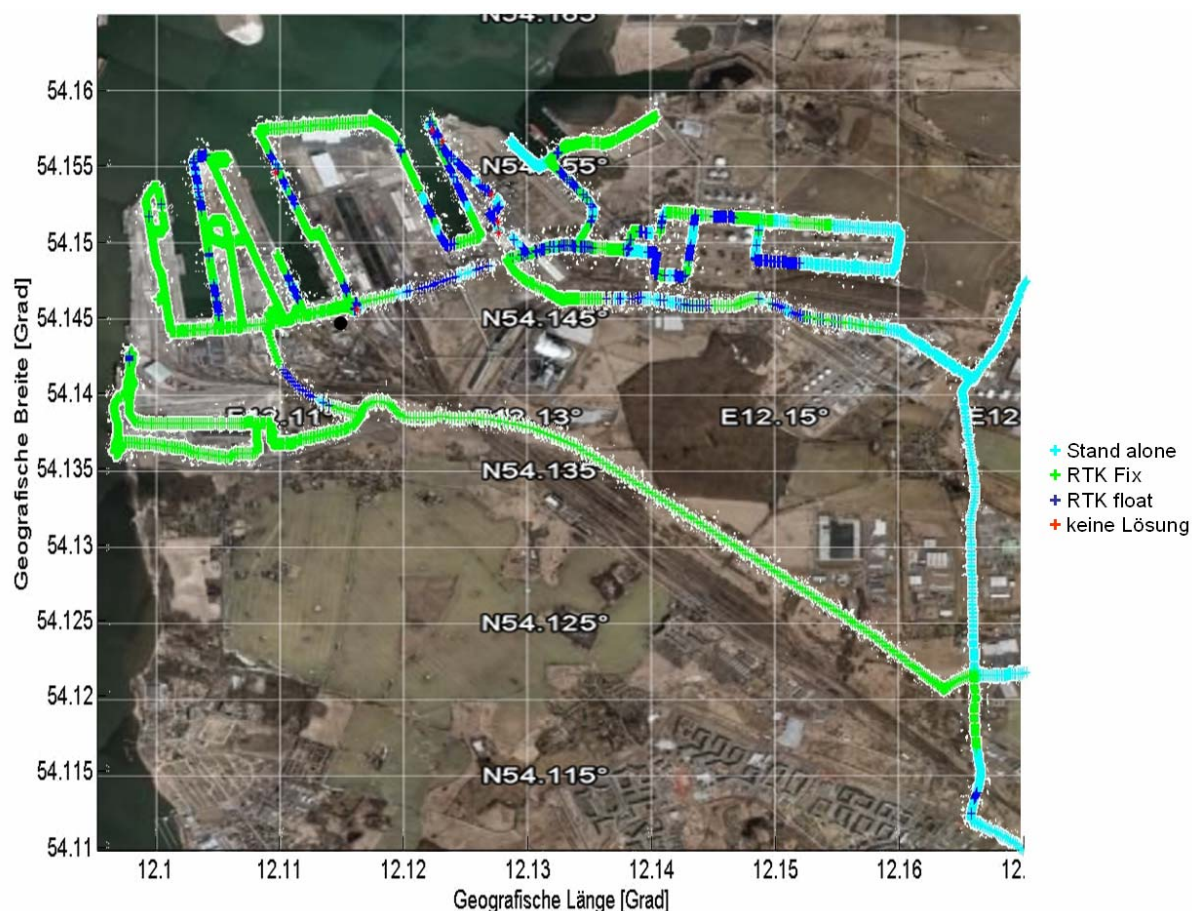


Abbildung 4-3: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im industriellen Umfeld des Forschungshafens

Hier wird deutlich, dass

- auf Pier 1 nahezu zu 100 % RTK Fix Lösungen ermittelt wurden
- auf Pier 2 westlich der Kaihalle 3, im Bereich des Schrotterminals und im Zuckerterminal (östlich Kaihalle 1) massiv RTK Float oder rein codebasierte Lösungen auftreten
- auf Pier 3 westlich der Liebherr Hallen sowie am östlichen Düngemittelkai oftmals nur RTK Float oder rein codebasierte Lösungen ermittelt werden
- auf Pier 4 an der westlichen Grenze (Getreidehafen) fast kein RTK fix möglich ist
- im Öl- und Chemiehafen nur teilweise RTK Fix Lösungen zur Verfügung stehen.

Ursächlich für die Ausfälle der RTK Fix Lösung auf Pier 2 und 3 sind vor allem die direkt an den Kaianlagen stehenden Lastkräne, die bei Durchfahrung durch das Messfahrzeug abschirmend wirken, so dass entweder bedingt durch starke Reflexionen Mehrwegefehler auftreten oder der Trackingverlust bei unter 4 Satelliten dazu führte, dass überhaupt keine Positionslösung mehr ermittelt werden konnte. Auf Pier 4 sind die Ursachen für die Ausfälle ebenfalls in Krananlagen, aber auch einer erhöht liegenden Förderanlage des Schüttgutlagers zu

sehen. Im Bereich des Öl- und Chemiehafens wirken sich die dort befindlichen Öltanks sowie Pipelines ebenfalls stark störend auf den RTK Empfang aus.

Eine weitere Besonderheit stellt der Ausfall der RTK Fix Lösung östlich der Referenzstation auf der Ost-Weststraße dar (siehe rot markierter Bereich in nachfolgender Abbildung).



Abbildung 4-4: Ausfall der RTK fixed Lösung nach Durchfahrt einer Förderbrücke

In diesem Bereich beträgt der Abstand zur Referenzstation nur zwischen 320 und 930 m. Der Ausfall der RTK Fix Lösung bzw. des Springen in den Mode der codebasierten Lösung wird genau bei Durchfahrtung einer zum Schüttgutlager führenden Förderbrücke hervorgerufen. Dem Empfänger gelingt es dann über einen längeren Zeitraum nicht mehr, wieder eine RTK Fix Lösung zu berechnen. Beim Durchfahren einer zweiten Förderbrücke nach etwa 660 m sieht man deutlich, dass der Empfänger von einer RTK Float Lösung wieder in eine codebasierte Lösung zurückspringt und erst an der Abbiegung der Ost-West-Straße in südlicher Richtung wieder zum RTK Fix zurückkehrt.

Der ebenfalls aus Abbildung 4-4 recht gut erkennbare Ausfall einer Positionslösung (siehe rechts neben Referenzstation) verbunden mit RTK Float und codebasierten Lösungen ist auf die Einfahrt in eine Tankstelle zurückzuführen. Hier wirkt das Dach der Tankstelle derart abschirmend, dass für den Zeitpunkt der Durchfahrtung keine Lösung ermittelt werden konnte. Dies entspricht den Erwartungen.

Für eine Detailanalyse des Nahbereiches der Referenzstation (d.h. bis ca. 1,4 km Entfernung in nördlicher Richtung bis an die Kaianlagen von Pier 3 bzw. bis etwa 1 km in westlicher Richtung zu Pier 1) wurden die farblich codierten ausgegebenen Positionslösungen noch einmal in Abbildung 4-5 dargestellt.

Hieraus wird erkennbar, dass im direkten Umfeld der Referenzstation (Hafenanlagen von Pier 1 bis 3) es vor allem in der Nähe und beim Durchfahren von Krananlagen (siehe Abbildung 4-5) zum Ausfall der RTK Fix Lösung kommt.

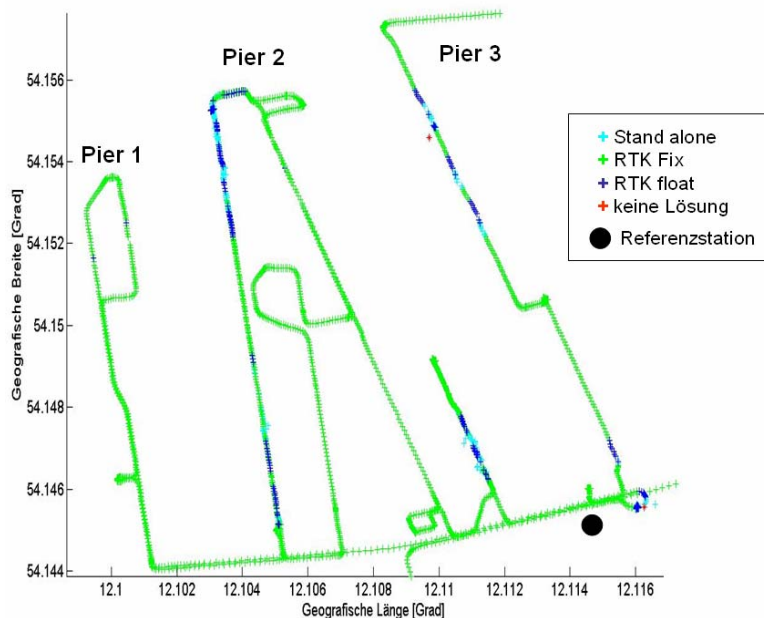


Abbildung 4-5: NMEA Positionslösungen (farblich codiert) im Nahbereich zur Referenz

Die 3 sichtbaren Krananlagen in Abbildung 4-6 zeigen exemplarisch die genaue Korrelation zu den Ausfällen auf Pier 3 in Abbildung 4-5.



Abbildung 4-6: Krananlagen auf Pier 3 (westliche Kaibereich – Schüttguthafen)

Ein konkretes Beispiel von Störungen in den NMEA Positionen bei den Krananlagen im Nord-Osten von Pier 2 zeigt das folgende Bild.



Abbildung 4-7: Google Earth mit NMEA bei Krananlage Pier 2

In der Abbildung sind in grüner Darstellung die mit 1 Hz aufgenommenen NMEA Positionen dargestellt. Die einzelnen Messzeitpunkte sind mit roten Punkten eingetragen. Erkennbar ist, dass im gesamten nördlichen und östlichen Bereich die NMEA Positionen glatt verlaufen. Ein Vergleich zu den Referenztrajektorien liefert nur kleine Differenzen. Im westlichen Bereich der Krananlagen sind hingegen massive Sprünge zu erkennen, die auch in den TTC Positionen vorhanden sind. Hieraus wird deutlich, dass eine hinreichende Beurteilung der Positionsgenauigkeit in gestörten Umgebungen nicht möglich ist.

4.2 Alter der Korrektursignale für RTK Positionen

Neben der reinen RTK Verfügbarkeit spielt auch das Alter der vom Empfänger verwendeten Korrekturdaten für die Bewertung des RTK Empfangs eine wichtige Rolle. Mit zunehmendem Alter dieser Korrektursignale nutzt der Empfänger daher einen speziellen Extrapolarisationsalgorithmus, der es zwar ermöglicht, noch eine RTK fix Lösung zu berechnen, die Genauigkeit dieser Lösung aber einschränkt.

Aus den NMEA Messungen kann das Alter der Korrektursignale nur im Modus der RTK Fix Positionierung ausgegeben werden. Die analysierten Werte für das Alter liegen für den gesamten Messzeitraum im Bereich zwischen 2 bis 29 Sekunden. Die folgende Grafik zeigt in verschiedenen Farben das Alter der verwendeten Korrekturdaten bei den RTK Positionierung im RTK Fix Modus.

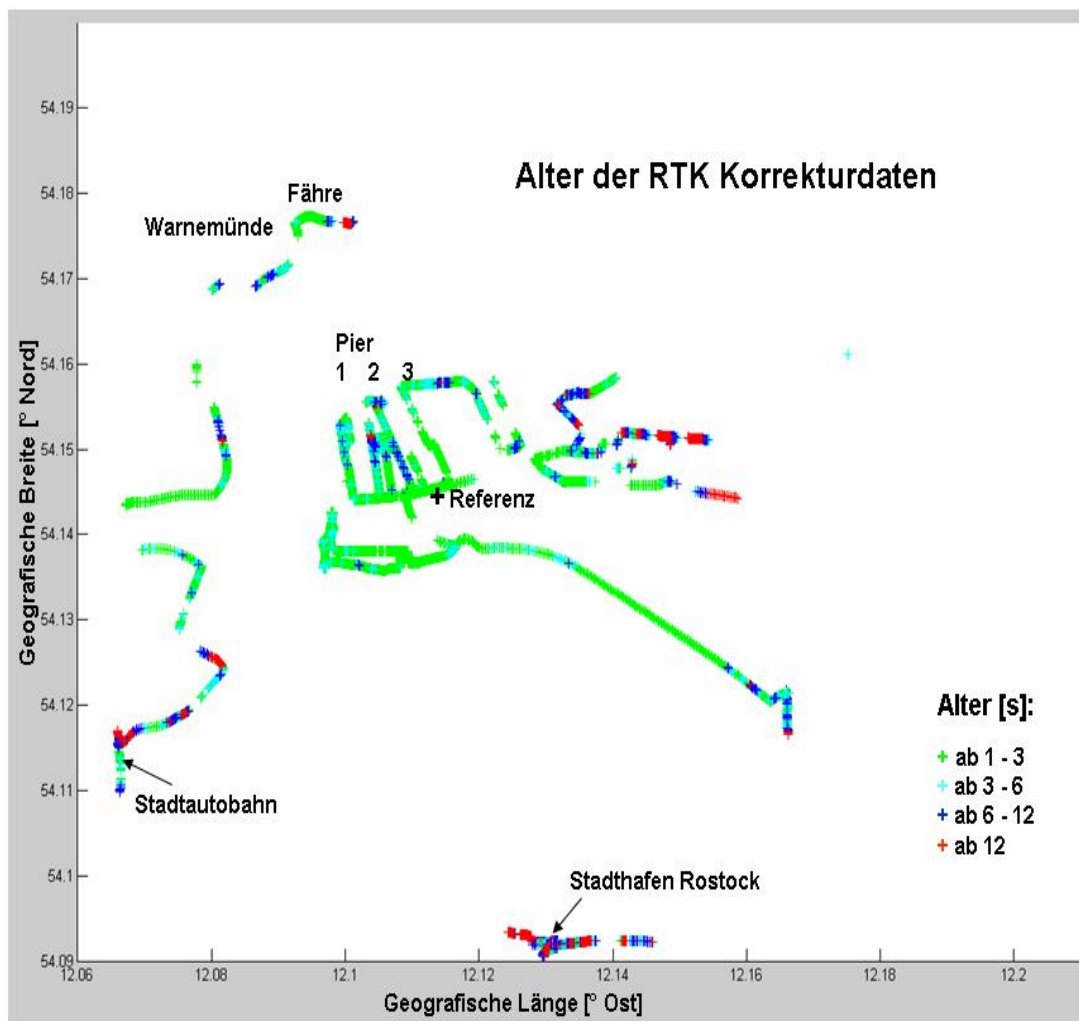


Abbildung 4-8: Verschiedene Altersbereiche der Korrektursignale für Rover RTK Positionen im gesamten Messbereich

In der Nähe der ALEGRO Referenzstation liegt der Alterswert der Korrektursignale hauptsächlich zwischen 2 und 3 Sekunden. Im Nord-West Bereich auf dem Pier 2 ergeben sich Alterswerte von mehr als 12 Sekunden, trotzdem die Entfernung zur RTK Referenzstation nur ca. 1km beträgt. Ursächlich dafür könnte ein gestörter Funkempfang zwischen Referenz und Rover sein, der vor allem durch große Krananlagen und Lagerhallen bedingt ist.

4.3 Genauigkeit der NMEA Positionslösungen

In vielen Fällen lassen sich zu Zeitpunkten des RTK Fix Ausfalls über TTC Postprozessierung noch genaue Referenzpositionen bestimmen. Die sich dabei ergebenden Positionsdifferenzen zu den zugehörigen NMEA Werte sind für den Zeitraum von 9 bis 11 Uhr in der folgenden Abbildung dargestellt.

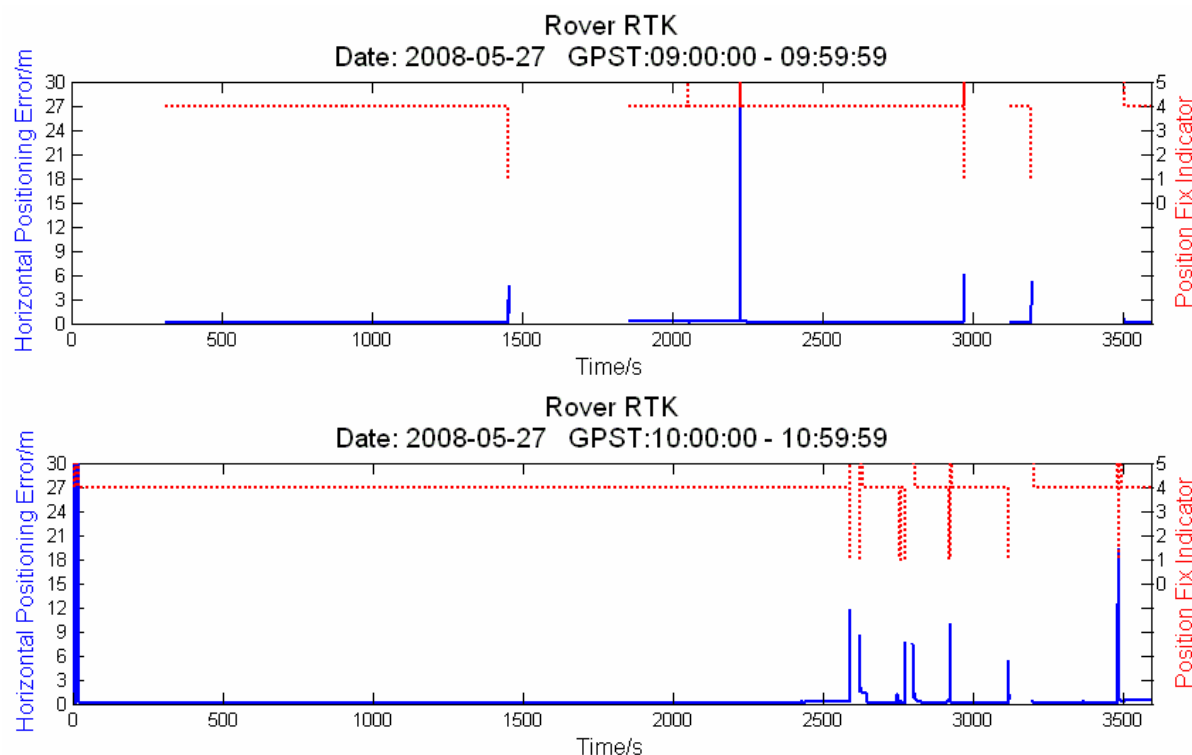


Abbildung 4-9: NMEA Positionsdifferenzen zu TTC Referenzwerten

Insbesondere beim Aussetzen des RTK Fix kommt es beim RTK Float (Flag = 5) zu Differenzen, die weit über 30m liegen. In der Abbildung 4-9 Mitte der oberen und Anfang der unteren Grafik). Die Differenzen bei der codebasierten Lösung (Flag =1) zur Referenz sind hierbei kleiner als 20m.

4.4 Genauigkeit der RTK Fix Positionslösungen

Die bisher gezeigten Analysen erlauben zwar eine Beurteilung der RTK Verfügbarkeit, sind jedoch nicht dazu geeignet, Aussagen über die Positionsgenauigkeit zu treffen. Dazu sind Vergleiche mit einer Referenztrajektorie erforderlich, für die das Programmpaket TTC herangezogen wurde.

TTC erlaubt auf der Grundlage der aufgezeichneten Roverdaten sowie von Referenzdaten eine Referenztrajektorie der Rover-Fahrroute im Postprozessing zu errechnen. Diese Referenztrajektorie lässt sich dann mit den Messergebnissen aus den NMEA Datenaufzeichnungen des Rovers vergleichen, um daraus Rückschlüsse auf die erreichte Genauigkeit zu erzielen.

In der folgenden Abbildung werden daher die berechneten Positionsdifferenzen zwischen den RTK Fix Messungen und den aus TTC Fix Referenzwerten dargestellt.

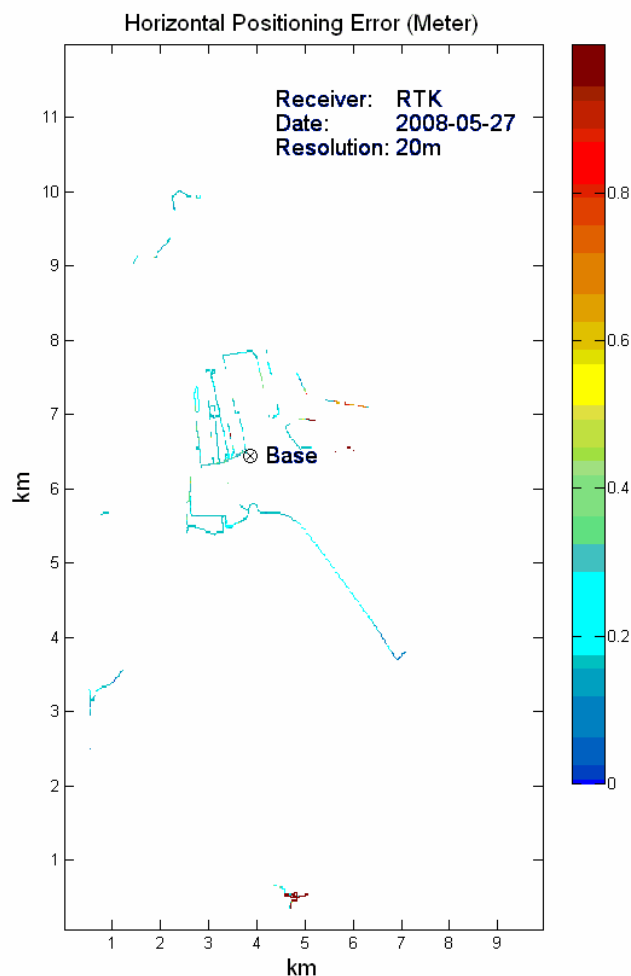


Abbildung 4-10: RTK Fix Positionsgenauigkeit im Vergleich zwischen gemessenen NMEA Werten und berechneten TTC Fix Referenzwerten

Die Größe dieser Differenzen entspricht der Farbskalierung auf der rechten Seite. Alle Werte größer als 1m werden dabei dunkelrot dargestellt. Erkennbar ist, dass die horizontale Positionsgenauigkeit durchaus im cm-Bereich liegen kann. Allerdings lassen sich auch Messstandorte erkennen, an denen der selbst aus der RTK Lösung ermittelte Positionsfehler einen Meter überschreitet. In dem folgenden Ausschnitt für das Hafengebiet Rostock sind solche Positionsfehler in der Mitte und rechten Kante des Bildes zu erkennen.

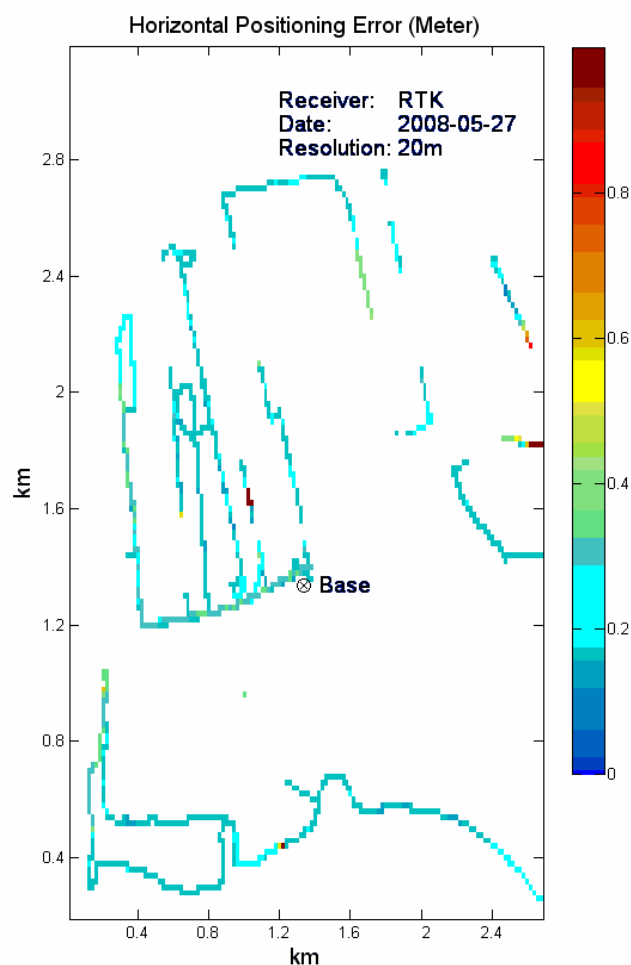


Abbildung 4-11: RTK Fix Positionsgenauigkeit im Hafengebiet mit Farbskala

In der Abbildung 4-12 sind solche Störungen innerhalb des Messzeitraumes von 10.00 bis 11.00 Uhr ab ca. 10:40 Uhr (untere Grafik rechts ab 2100. Sekunde) deutlich zu sehen. Die Positionsdifferenzen (insgesamt 17 Positionen ab 10:44 Uhr in den 2 Ausreißerbereichen) liegen dabei über 1m (schwarzer Pfeil).

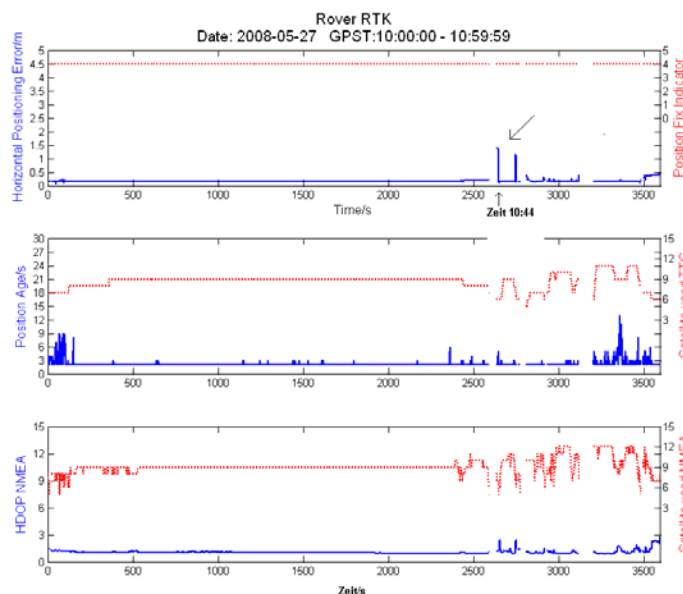


Abbildung 4-12: Detailanalyse der RTK Fix Positionsgenauigkeit im Zeitraum von 10 bis 11 Uhr

Zu beachten ist dabei, dass gerade in gestörten Bereichen (Krananlagen, Förderanlagen) die Bestimmung einer Referenztrajektorie durch Messdaten dem Problem unterliegt, dass die genutzten Eingangsdaten selbst mit einer stark schwankenden Satellitenanzahl vorliegen. Damit sind Genauigkeitsuntersuchungen zur Referenztrajektorie notwendig. Kleine Sigma-werte als Maß für die Genauigkeit der TTC Berechnung und gleichmäßiger Verlauf der Referenztrajektorie deuten dabei auf eine Ungenauigkeit in den RTK Fix Werten.

Die Positionsdifferenzen von NMEA und TTC können nur berechnet werden, wenn gleichzeitig RTK Fix und TTC Fix Positionen vorliegen. Die folgende Tabelle zeigt eine Statistik zur Größe der RTK Fix Positionsdifferenzen für den Zeitbereich bis 11 Uhr (Positionen liegen am Pier 1 bis 4 vom Hafen Rostock). Dabei zeigt sich, dass ungefähr 92% der Positionslösungen von RTK Fix und TTC Fix Differenzen kleiner als 20cm aufweisen.

Zeitintervall	Anzahl Sekunden	TTC Fix und RTK Fix	Differenzen [m]				
			bis 0.2	0.2 bis 0.5	0.5 bis 1.0	ab 1.0 TTC	ab 5
09:04:58 -09:59:45	3288	2421	2119	301	1	0	0
09:59:46 -10:59:45	3600	3402	3225	159	1	17	0
Summe absolut	6888	5823	5344	460	2	17	0
Summe Prozent		100.0	91.77	7.90	0.03	0.30	0.00

Tabelle 4-2 Statistik zu den RTK Positionsdifferenzen am Pier 1 bis 4

Die 17 Sekunden mit Differenzen über 1m befinden sich dabei alle direkt an den großen Krananlagen an der Ostseite von Pier 2. Diese Positionen entsprechen dem dunkelroten Bereich in der Bildmitte der Abbildung 4-11. Das Alter der RTK Korrekturdaten befindet sich dabei aber gemäß der Abbildung 4-8 im grünen Bereich (entspricht 1-3 Sekunden).

Referenzen

[Ref 1]	Handbuch GeoGenius 2000 Spectra Precision 31.1.2000
[Ref 2]	Release Notes Version 2.7 „Trimble Total Control“ April 2002
[Ref 3]	TN Alegro “Bestimmung der Position der Referenzstation und der Referenztrajektorien mittels TTC” R. Reimer