



THOMAS THIES | STEFAN BENECKE

Bedeutung von Inertialen Navigationssystemen für hydrographische Mobile Mapping Anwendungen

7. Hamburger Forum für Geomatik – Aktuelle Entwicklungen aus Forschung und Praxis / 11. und 12. Juni 2014



Vortragsgliederung

- 01 Einleitung
HPA und Mobile Mapping
- 02 Genauigkeitsbetrachtung und
aktuelle Messbeispiele
- 03 INS Untersuchung
Messgeräte / Testumgebung / Workflows
- 04 Ergebnisse INS-Tests
Ist genau, genau genug?
- 05 Zusammenfassung / Ausblick
Was bringt Zukunft?



01

Einleitung
*HPA und Hydrographisches
„Mobile Mapping“*





Einleitung – Aufgaben der HPA





Einleitung – HPA's Messschiffe

Deepenschriewer I



Deepenschriewer II



Deepenschriewer III

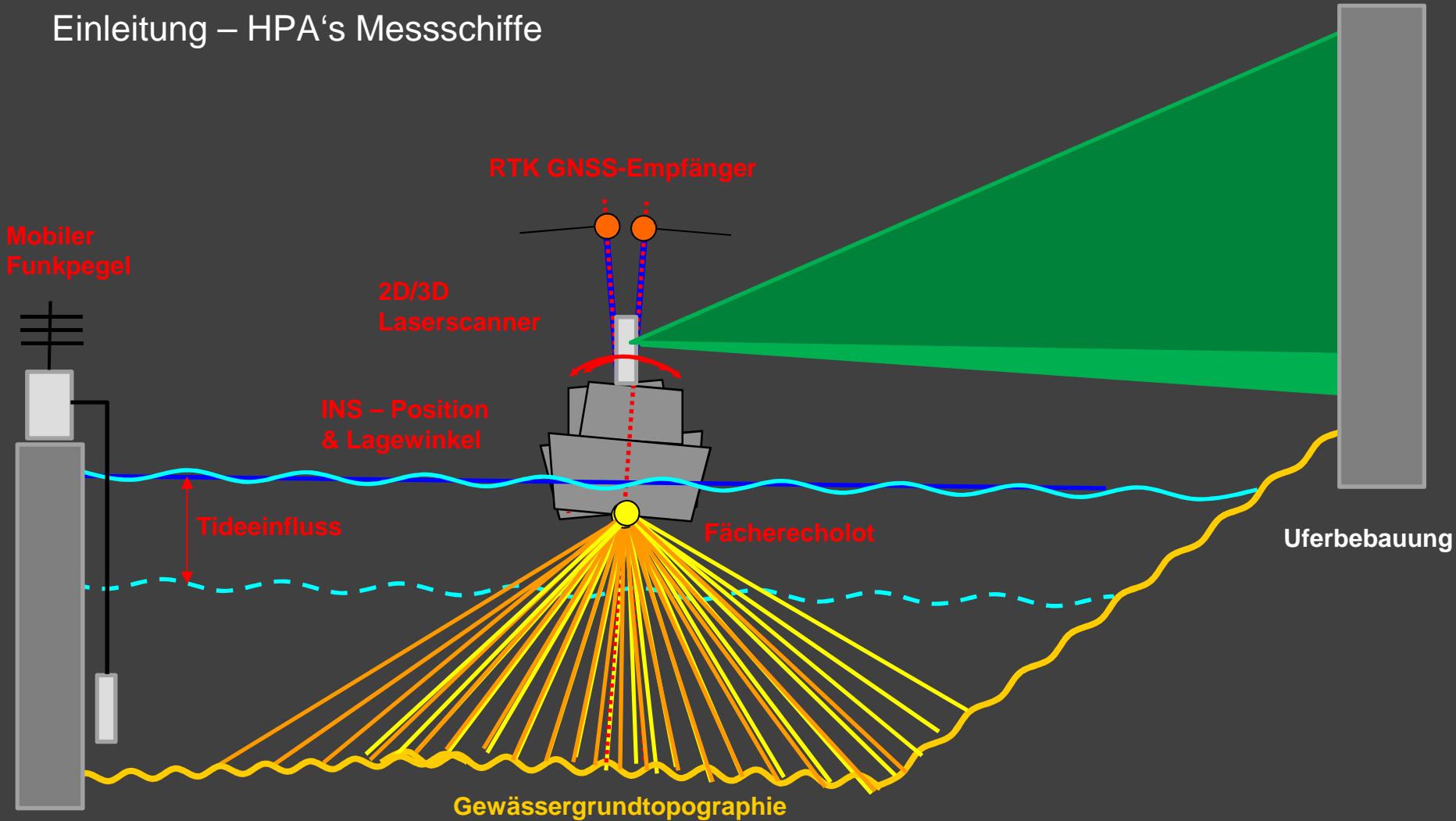


Deepenschriewer IV





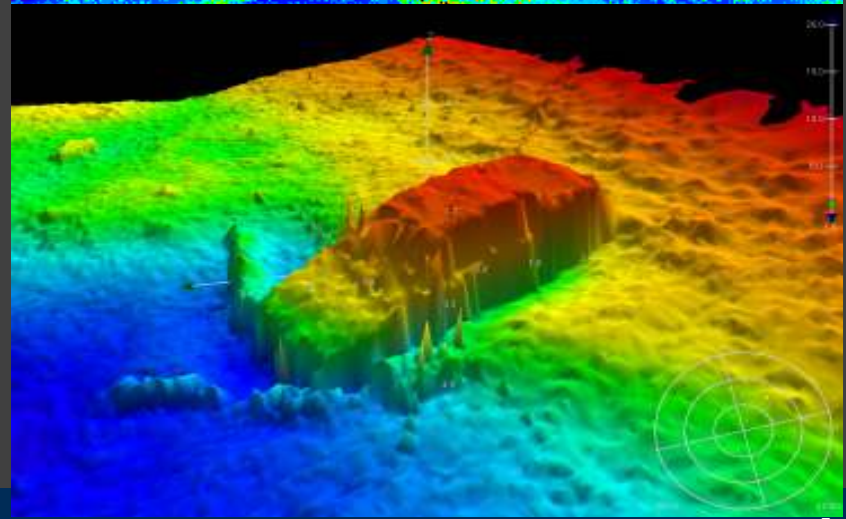
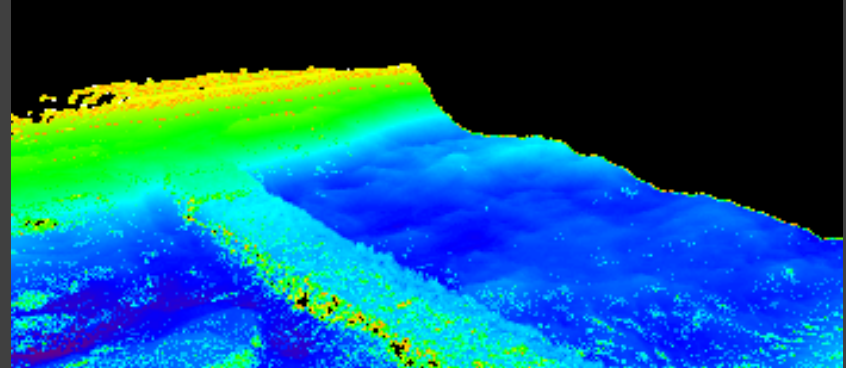
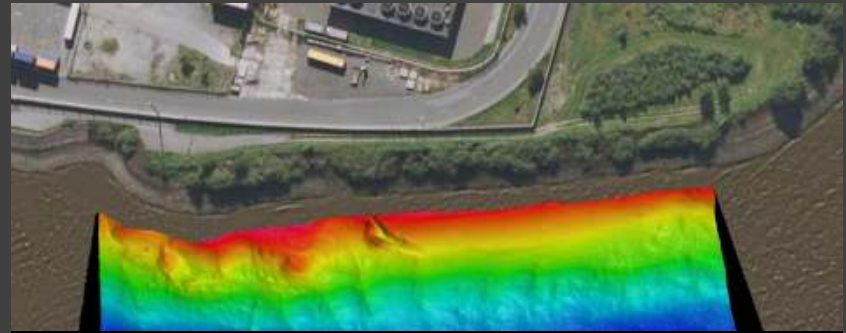
Einleitung – HPA's Messschiffe





Einleitung – HPA’s Messschiffe

Mobile Mapping Anwendungen in der Hydrographie schon seit mehreren Jahrzehnten etabliert, das bildgebende Verfahren basierend auf der Hydroakustik ist die Fächerecholotung





Einleitung – Aufgaben der HPA / Messschiffe

Seit 2011 ist Laserscanner inkl. Kamera fest im Messschiff installiert, lagemäßig im Schiffskoordinatensystem referenziert und zeitlich über GNSS auf UTC synchronisiert





Einleitung – HPA's Messschiffe



- ← **Gbit LAN Switch**
- ← **LTE/UMTS Modem**
- ← **10TB NAS Server**
- ← **2x Dualcore Prozessierungs PC**
- ← **2x Quadcore Datenerfassung PC**
- ← **Fächerecholot Prozessoreinheit**
- ← **INS**



Messraum D3

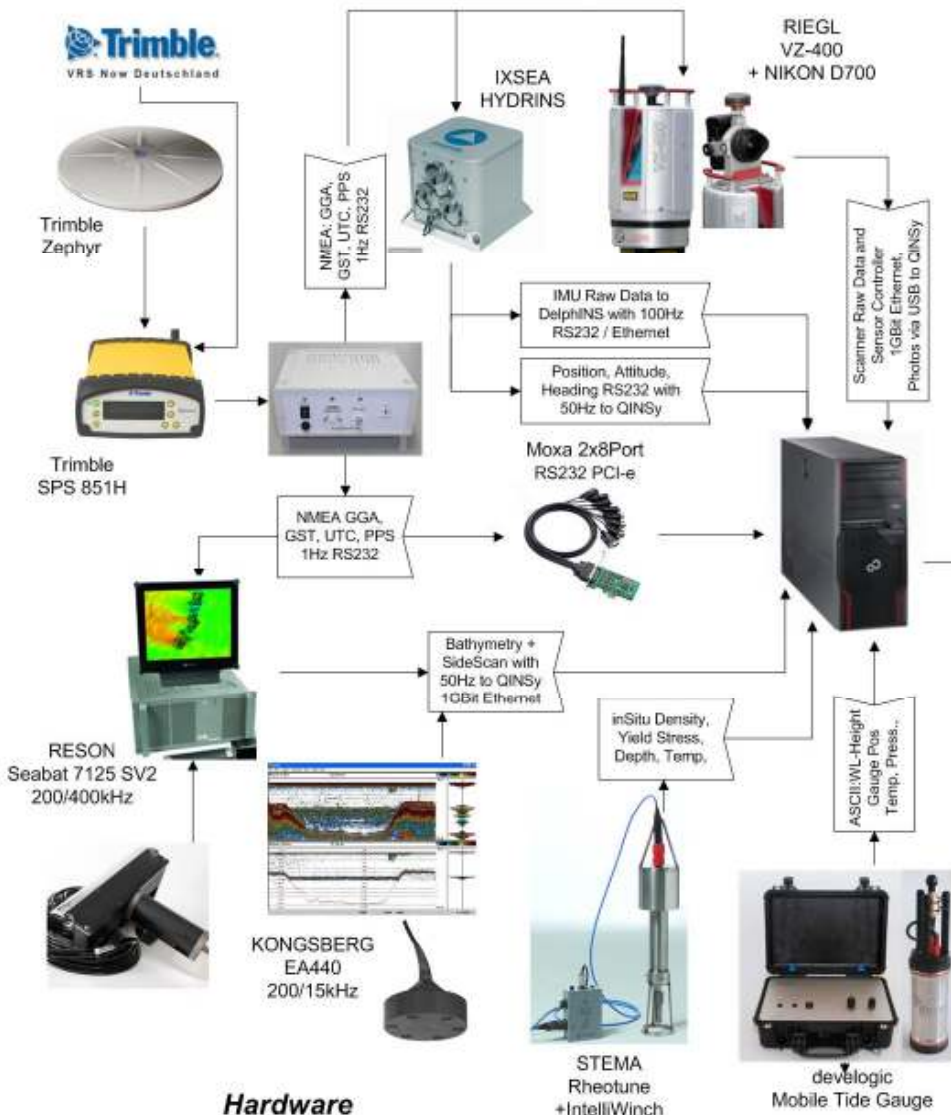
Rechenzentrum auf dem Wasser – IT Equipment für Fächerecholot- und Laserscananwendungen – Herzstück des Multisensorschiffes ist das INS



I/O-Anschlussfeld

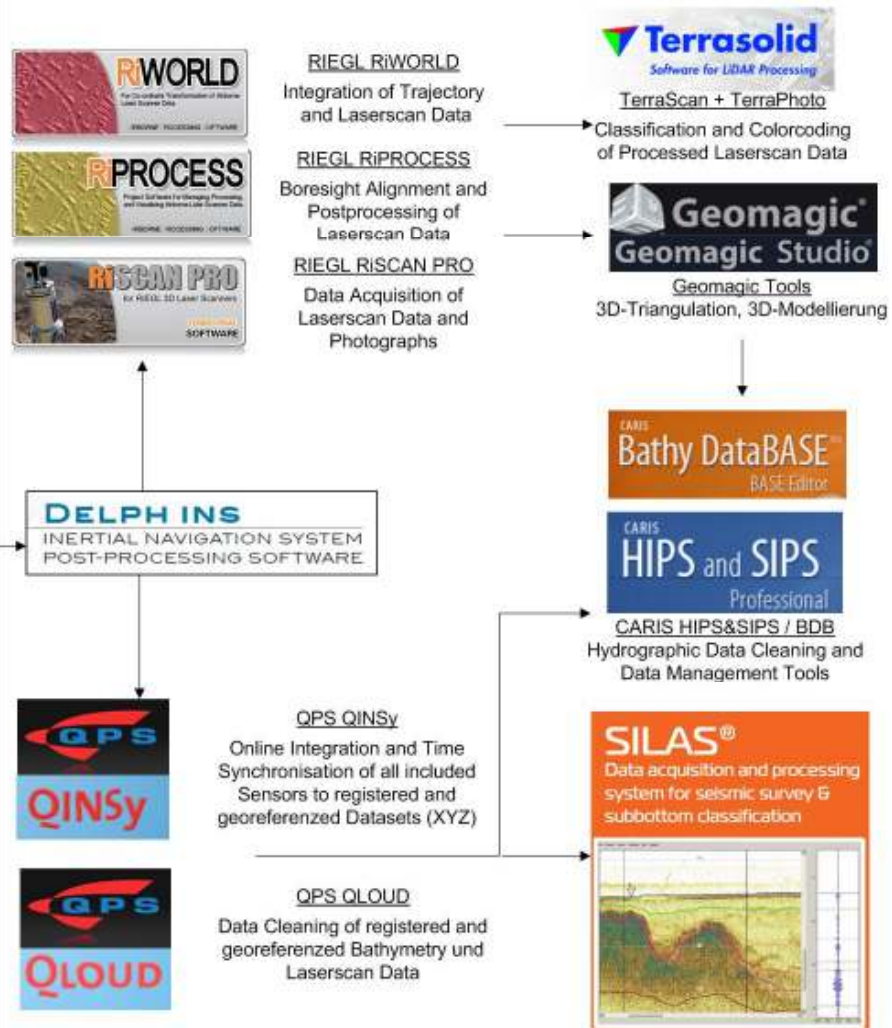
Inland-AIS

Sensorik an Bord



Hardware

Prozessierung an Bord / im Büro



Software



02

Genauigkeitsbetrachtung
und aktuelle Beispiele von
HPA MM-Anwendungen





Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

Fehlereinflüsse in mobilen Scananwendungen

- **Vertikale Fehlereinflüsse:**
 - Messunsicherheit des Scanners (Strecken und Winkel)
 - Messunsicherheit des INS (Rollen, Stampfen, Hub)
 - Einmessgenauigkeit der Offsets zw. den Sensoren (Höhe)
 - Messunsicherheit bei Positionierung (GNSS/INS Höhe)
- **Horizontale Fehlereinflüsse:**
 - Messunsicherheit des Scanners (Strecken und Winkel)
 - Messunsicherheit des INS (Rollen, Stampfen, Kurs)
 - Einmessgenauigkeit der Offsets zw. den Sensoren (Lage)
 - Messunsicherheit bei Positionierung (GNSS/INS Lage)
- Weiterhin existieren viele zusätzliche Fehlereinflüsse die auf Instrumentenfehlern, ungenau bestimmten atmosphärischen Parametern und den Oberflächeneigenschaften der detektierten Objekte basieren

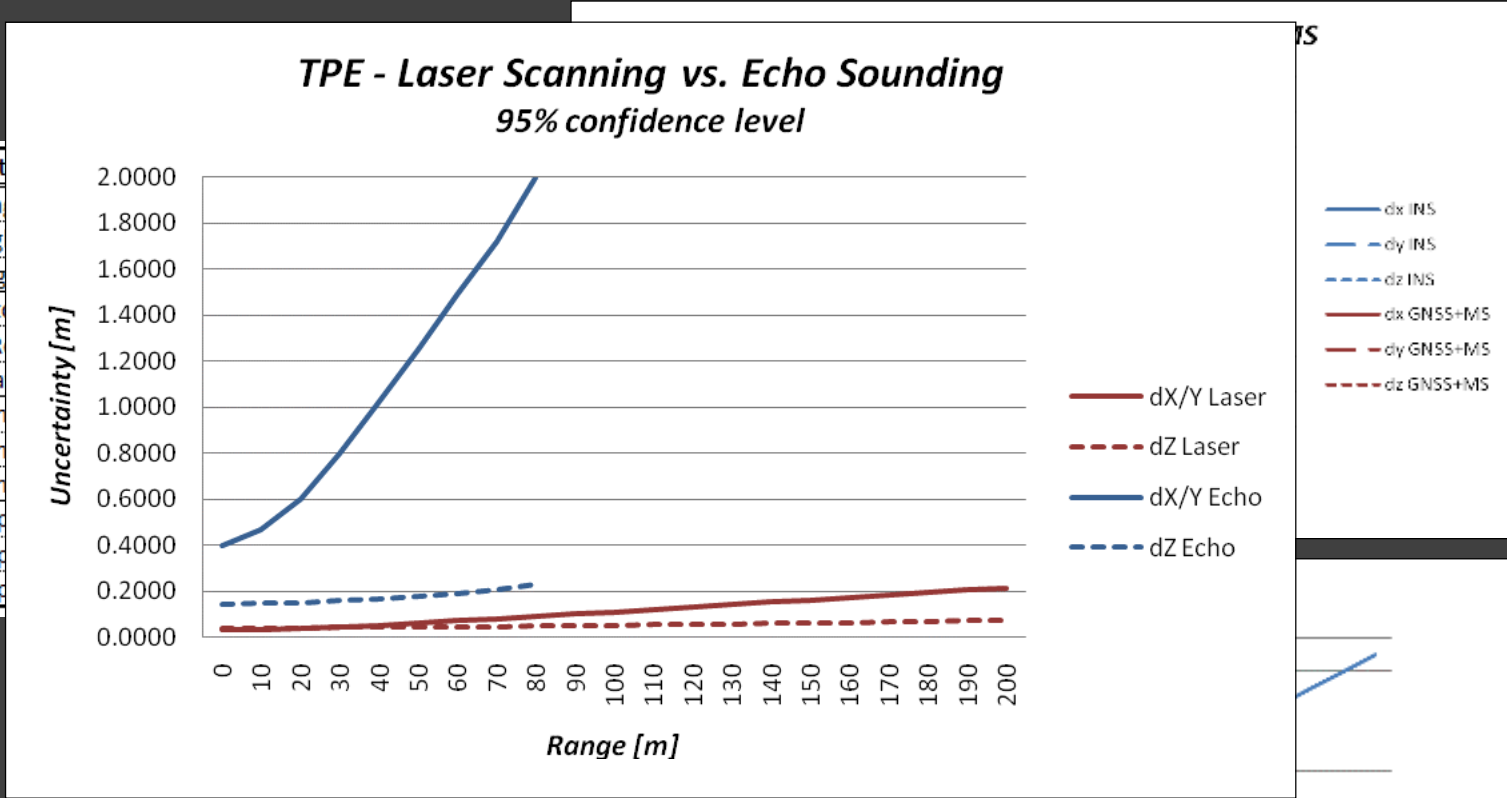
Zusätzliche Fehlereinflüsse in Fächerecholotanwendungen

- Messunsicherheit des Fächerecholotes (Strecken und Winkel)
- Messunsicherheit der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Wassersäule
- Messunsicherheiten durch Beamöffnungswinkel (tiefenabhängige Footprints)

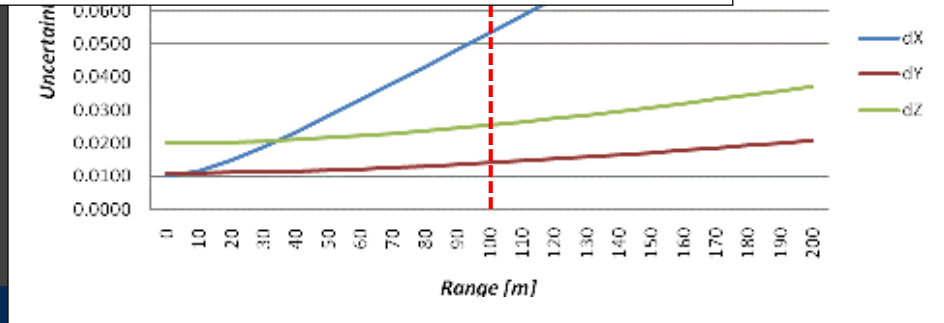


Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

| System | Parameter |
|---------------------|-----------------|
| Laser Scanner | Range |
| | Pan Angle |
| | Tilt Angle |
| Motion Sensor / IMU | Pitch |
| | Roll |
| | Yaw |
| Lever Arms | σX_m |
| | σY_m |
| | σZ_m |
| GNSS/IMU | σX_{gp} |
| | σY_{gp} |
| | σZ_{gp} |



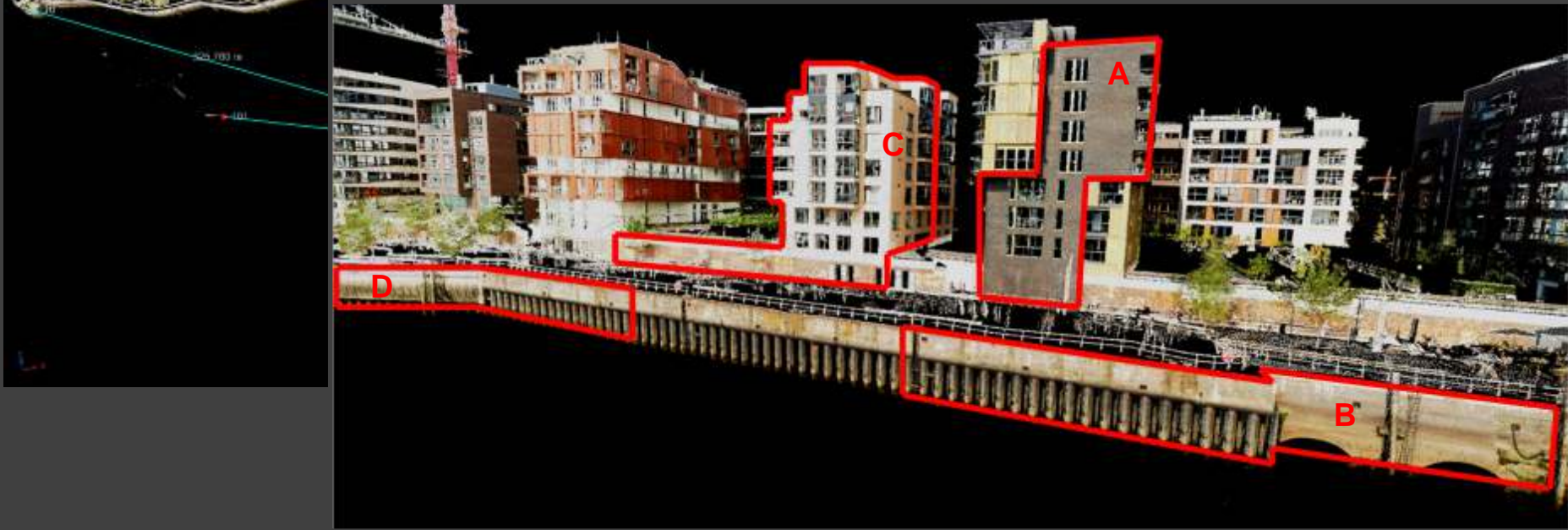
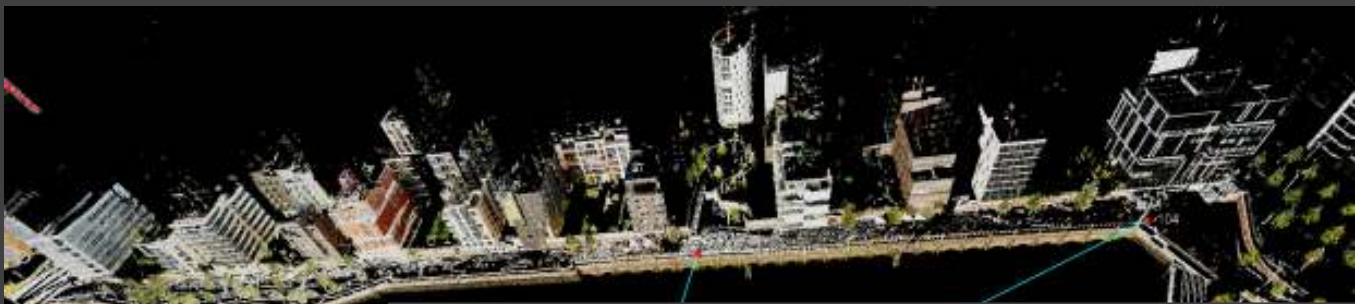
Die Grafiken beziehen sich auf eine Scannerausrichtung rechtwinklig zur Schiffsachse mit einem Kippwinkel von 60°, Fächerecholot-Beamöffnungswinkel 1,5° bei ±75° Fächeröffnung ebenfalls rechtwinklig zur Schiffsachse und einer Wassertiefe von 20m





Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

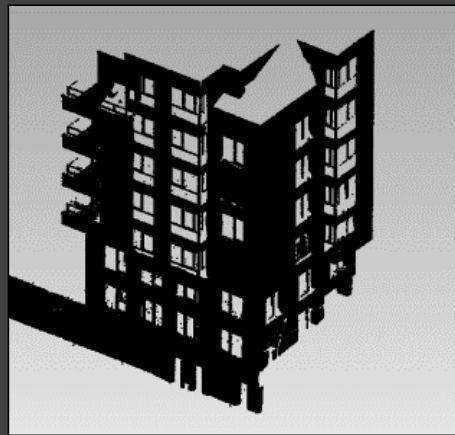
- Bestimmung von Testobjekten im terrestrisch erzeugtem Referenzdatensatz



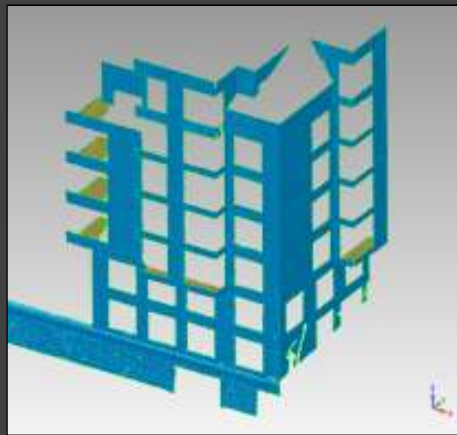


Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

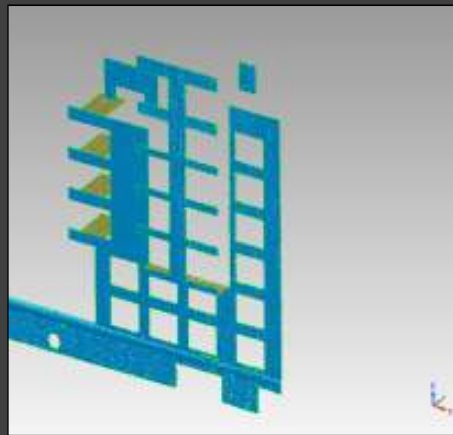
- Modellierung von 3D Polygonobjekten aus georeferenzierten Punktwolken aus Referenz- und Mobile Mapping Datensätzen mit Geomagic Studio über 3D-Dreiecksvermaschung
- Zur Detektion von geometrischen Differenzen müssen alle drei Dimensionen der Objekte (X,Y,Z) abgebildet werden
- Die erzeugten 3D-Objekte werden geometrisch verglichen und 3D-Differenzen werden berechnet
- Die 3D-Differenz ist definiert als räumlich kleinste Entfernung zwischen einem Punkt des Testobjektes zum Referenzobjekt



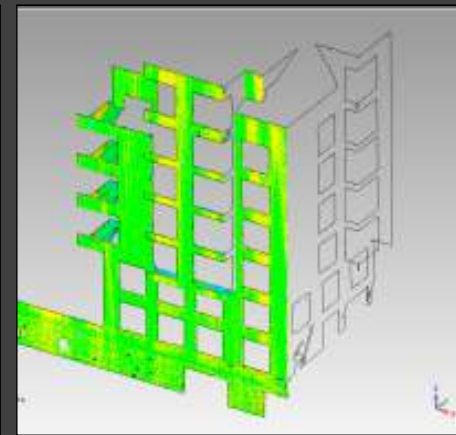
Bereinigte 3D Punktwolke



Referenz-Polygonobjekt



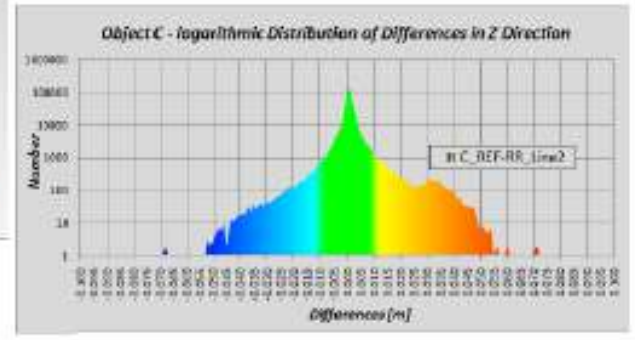
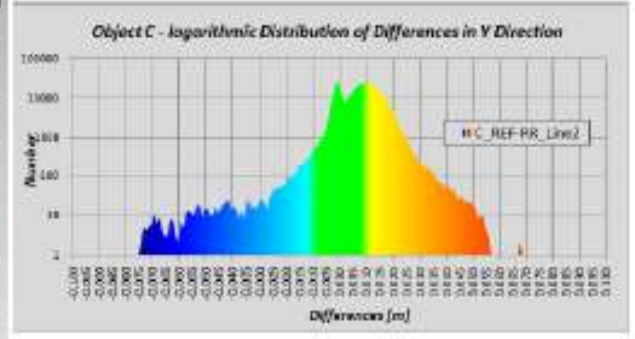
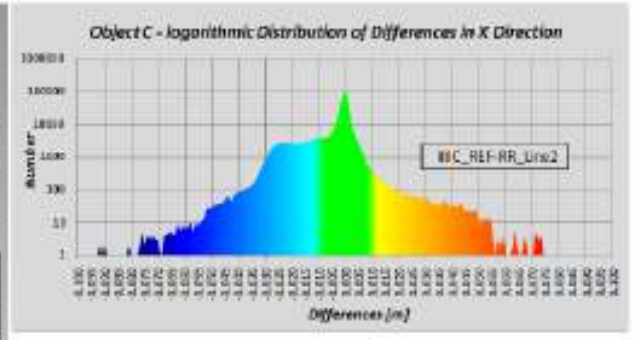
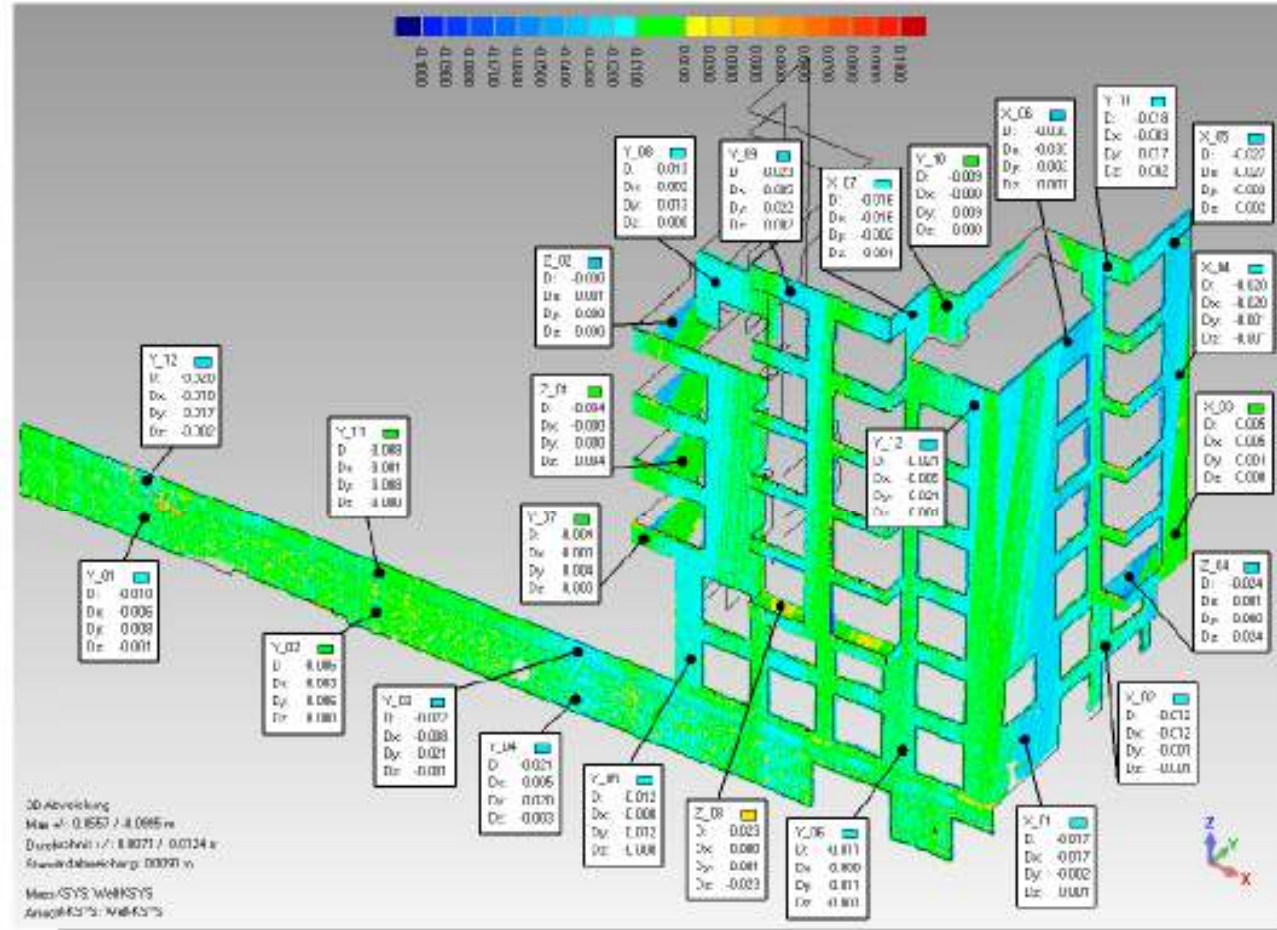
MobileScan-Polygonobjekt



3D-Differenzenobjekt



Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping





Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

Analyse der TPE-Abschätzung

- Bei hydroakustischen mobilen Messanwendungen stellt das Echolot bzw. seine physikalischen Eigenschaften die größte Messunsicherheit gerade in der Lageunsicherheit dar (Footprints)
- Beim mobilen Laserscanning wird die größte Unsicherheit durch das Positionierungs- und Lagemesssystem hervorgerufen → Kursgenauigkeit ist dabei entscheidend
- Mit den verwendeten Sensoren können bei guten GNSS-Bedingungen und einem Objektstand von max. 100m Genauigkeiten von unter $\pm 5\text{cm}$ erreicht werden

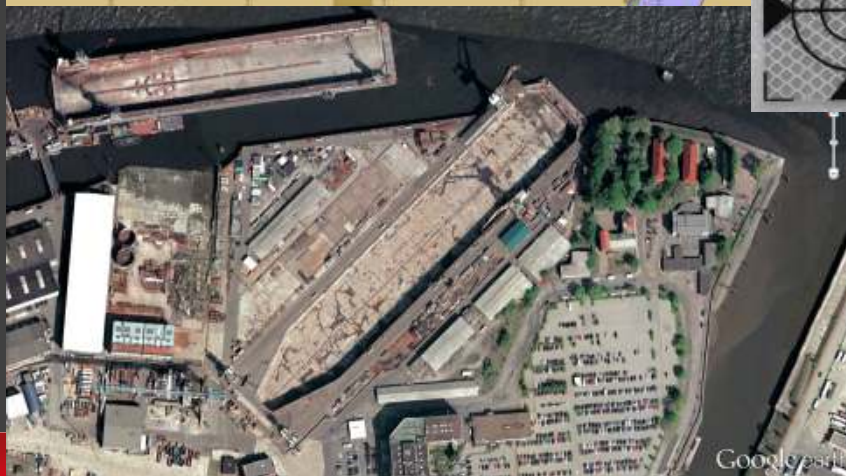
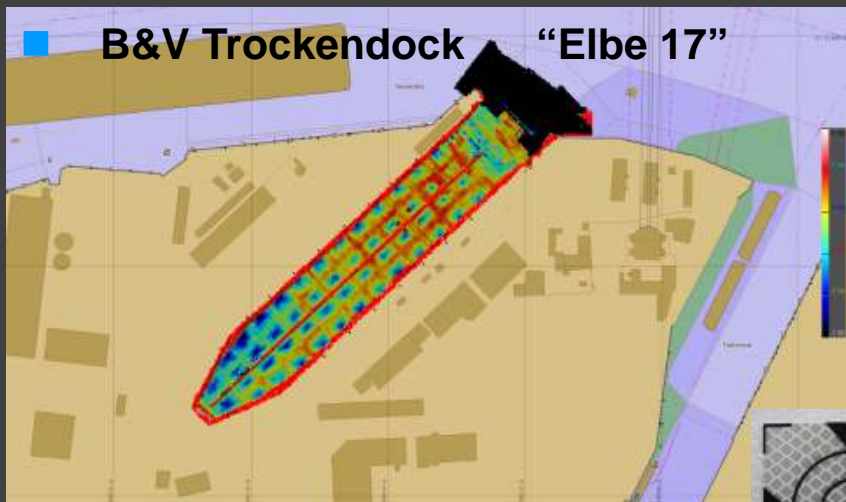
Analyse der 3D-Differenzen

- Die Mittelwerte der Differenzen in X, Y und Z-Richtung liegen zum Teil deutlich unter 1,5cm, die entsprechenden Standardabweichungen der Differenzen liegen größtenteils unter $\pm 1\text{cm}$
- Aus den Differenzmodellen wurden Differenzen in X-Richtung (Fahrtrichtung des Messschiffes) von maximal $\pm 3,5\text{cm}$ bei Objektdistanzen zwischen 50 und 60m detektiert, die zum größten Teil aus der Messgenauigkeit des Kurs- und Positionssensors resultieren
- Die Differenzen in Y-Richtung von maximal $\pm 2,5\text{cm}$ basieren ebenfalls auf der Positionsgenauigkeit, während die Differenzen in Z-Richtung von maximal $\pm 3,5\text{cm}$ durch die RTK-Höhenmessgenauigkeit und die Rollwinkelmessgenauigkeit des Messsystems hervorgerufen werden



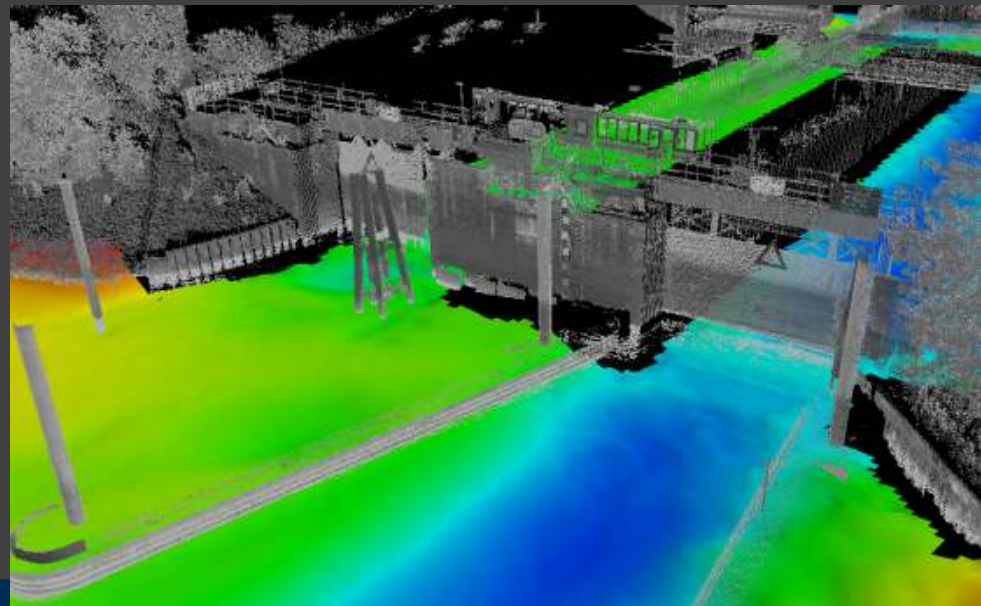
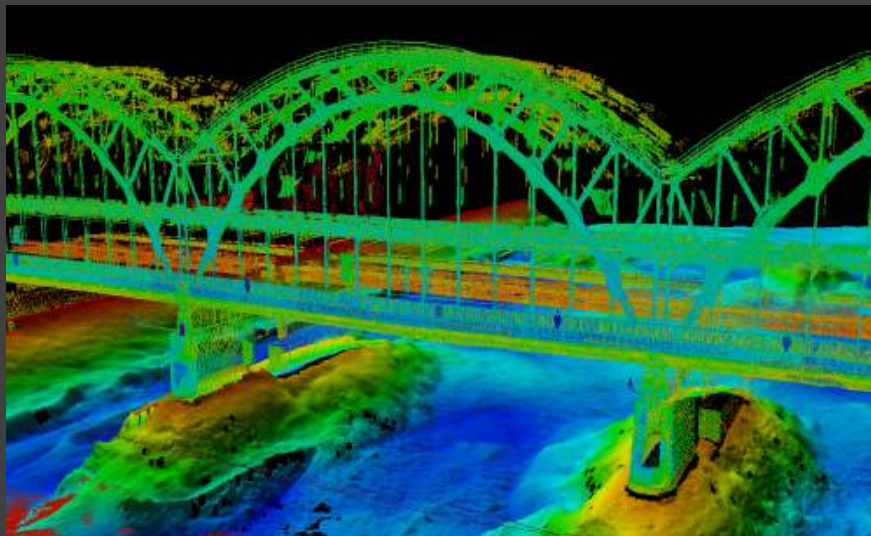
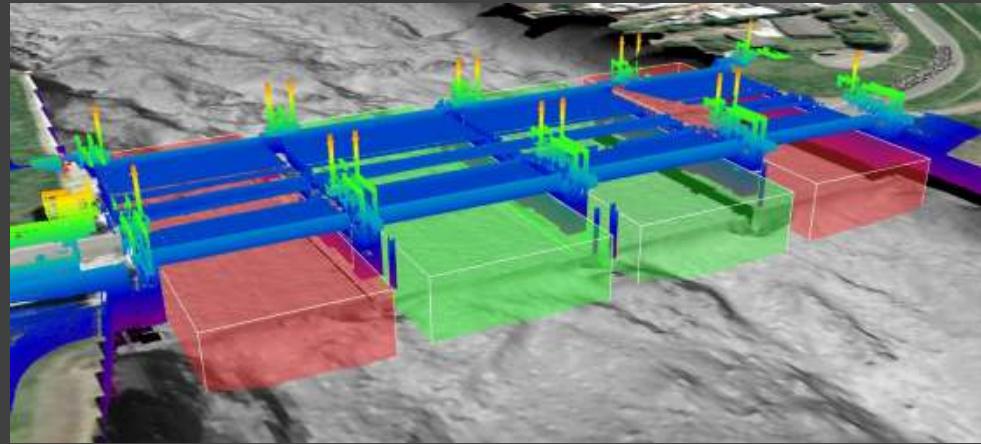
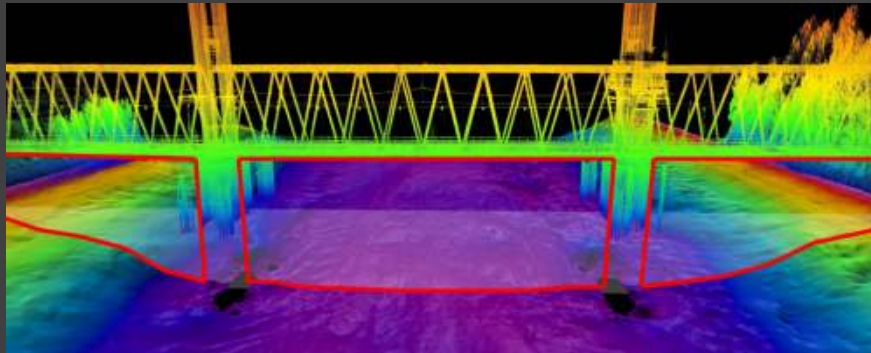
Genauigkeitsbetrachtung hydrographisches Mobile Mapping

Qualitätssicherung durch kontinuierliche Fächerecholot- und Scannerkalibrierungen





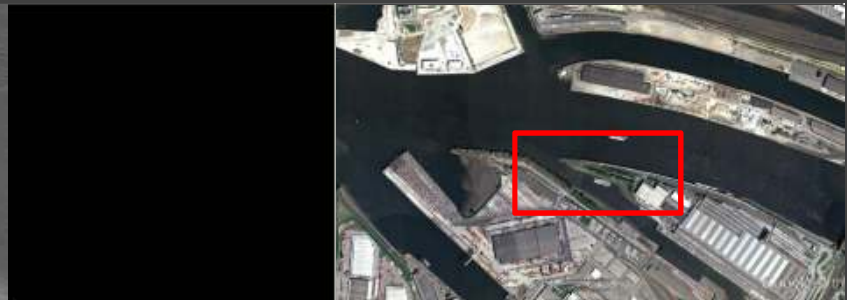
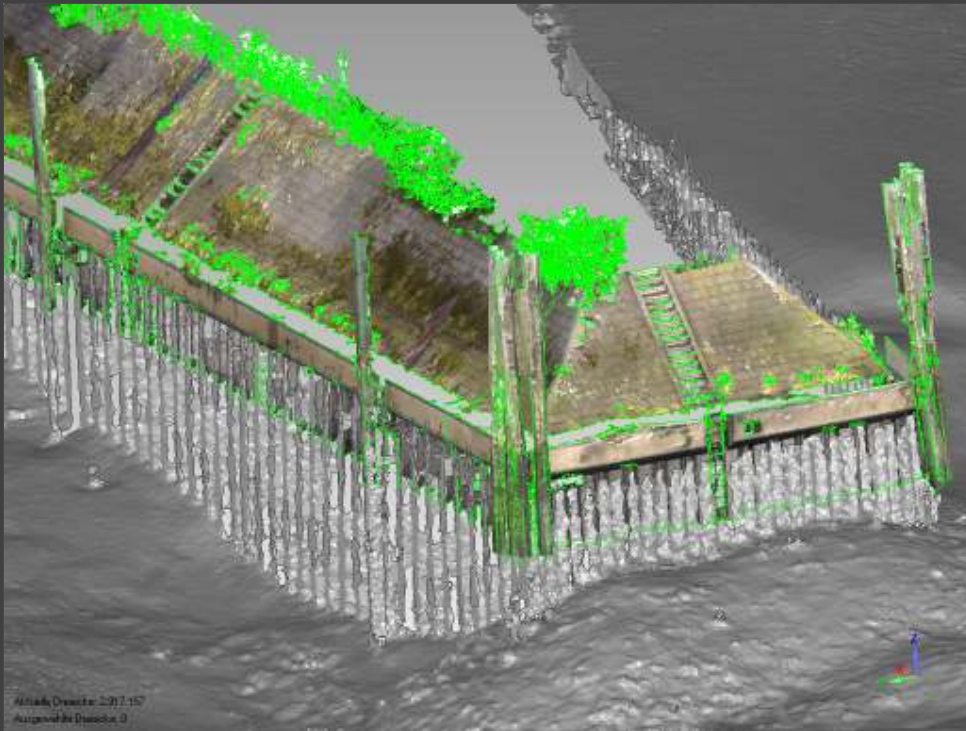
HPA Anwendungsbeispiele – Brückendurchfahrtshöhen / Lichtraumprofile



Neuerfassung der Brückendurchfahrten für Nautische Belange mit Fächerecholotung und mobilem Laserscan



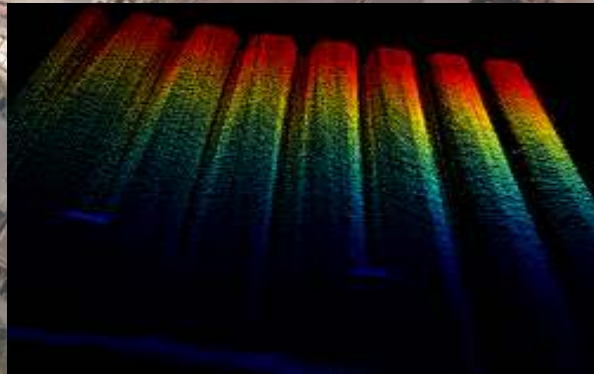
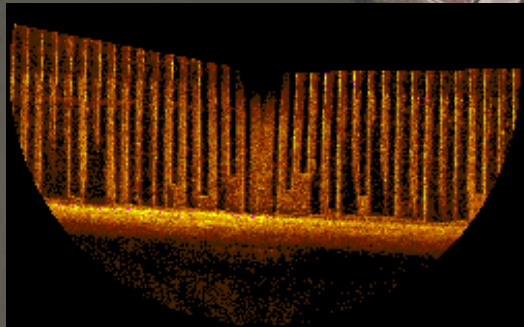
HPA Anwendungsbeispiele – Anlagenmanagement Ufer- und HW-Schutz



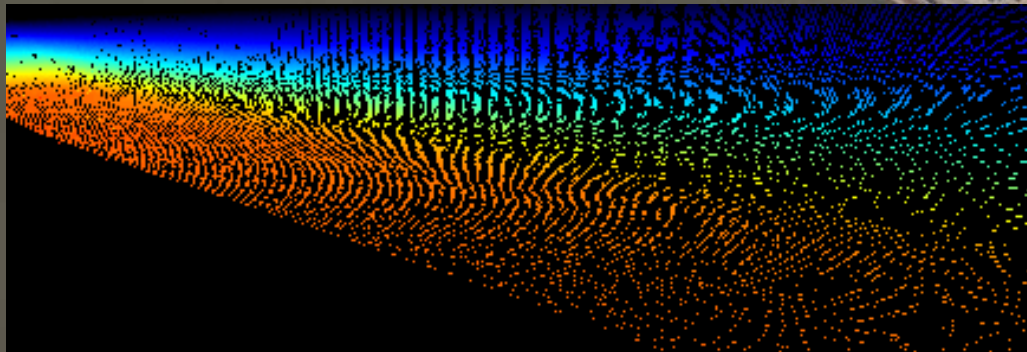
Monitoring von Uferbauwerk „Veddelhöft“ mittels Fächerecholot und Mobilem Laserscan



HPA Anwendungsbeispiele – Anlagenmanagement Kaimauern



**Bestandserfassung von
Kaimauer „Amsterdamer
Kai“ mittels Hydroakustik
und mobilem Laserscan**





03

Untersuchung von
Inertialen Navigations-
Systemen

*Theorie- und praxisnahe
Testmessungen*





Einleitung – Aufgaben der HPA



Kattwykbrücke



Rethe-Hubbrücke

Infrastruktur Brücken und Schleusen

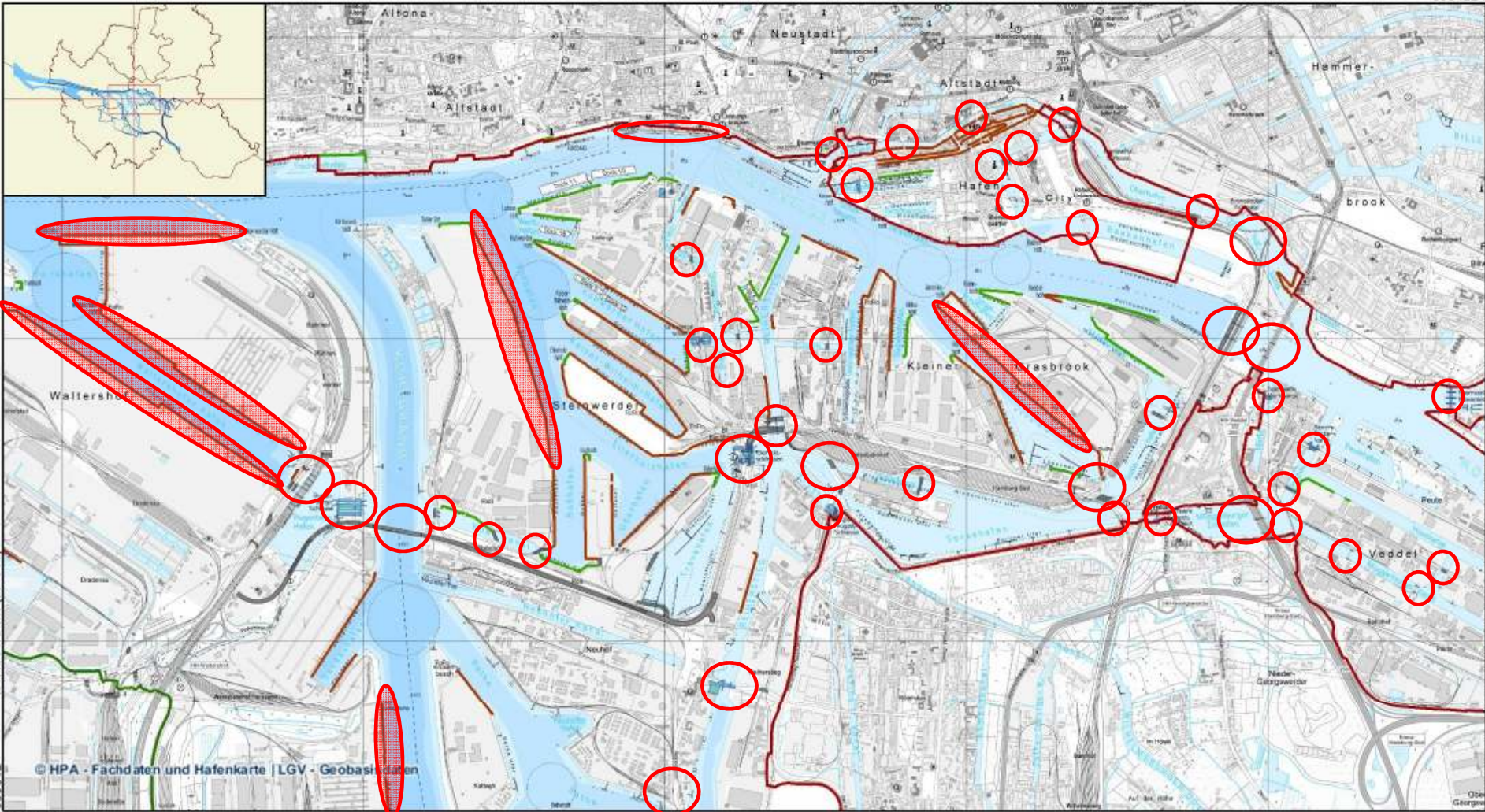
Brückenbauwerke 143
davon:

| | |
|----------------------|-------|
| Hafenbahnbrücken | 61 |
| Straßenbrücken | 56 |
| bewegliche Brücken | 10 |
| Sperrwerke | 7 |
| Sperr-/Stauschleusen | 3 / 3 |

(Brücken Hamburg insgesamt > 2300)



Übersicht Brücken, Schleusen und Sperwerke



ETRS89/UTM (LS 310)

© HPA - Fachdaten und Hafenkarte | LGV - Geobasisdaten

5928869

Autor: Thomas Thies

Datum: 29.05.2014



Maßstab: 1:35.000

HPA Hamburg Port Authority
Anstalt des öffentlichen Rechts
Neuer Wandrath 4
20457 Hamburg



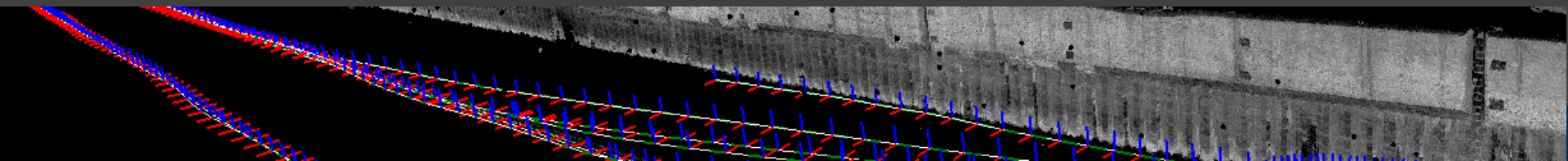
Messaufgabe und Untersuchungskonzept (Master Thesis - Stefan Benecke)

HPA und Inertiale Messsysteme – kurzer Abriss:

- Ende 2008 erste Testmessungen mit Inertialen Messsystemen (IXBLUE PHINS)
- Anfang 2010 Ausstattung aller 4 Peilschiffe mit IXBLUE HYDRINS und Einstellung des Polarortungsverfahrens
- Für kurzzeitige GNSS-RTK-Störungen (max. 30 Sekunden) z.B. unter Containerbrücken, an Böschungen mit starkem Bewuchs Verwendung der Online-INS-Lösung (Lage+Höhe)
- Bei Messungen unter Brücken / in Schleusen und Sperrwerken trotz Postprozessierung der INS-Daten Positionierung tlw. zu ungenau $\pm 15\text{cm}$

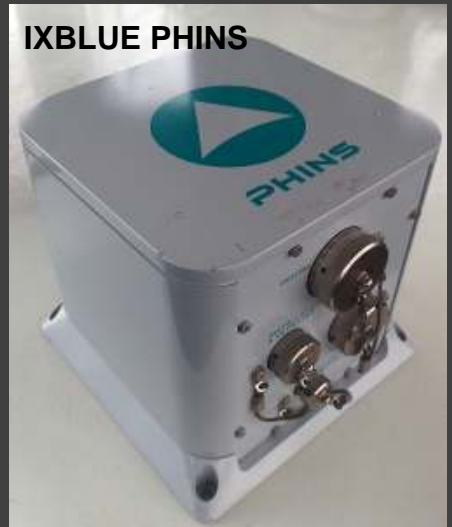
Aufgabe der Master Thesis:

- Marktanalyse und Auswahl von Testsystemen für Untersuchung
- Konzeptionierung eines Vergleichstestverfahrens für den Vergleich der Systeme
- Durchführung der Testmessungen und Prozessierung der Daten
- Analyse der Online- und Postprozessierungsergebnisse der Testsysteme





Messkonzept / Testsysteme



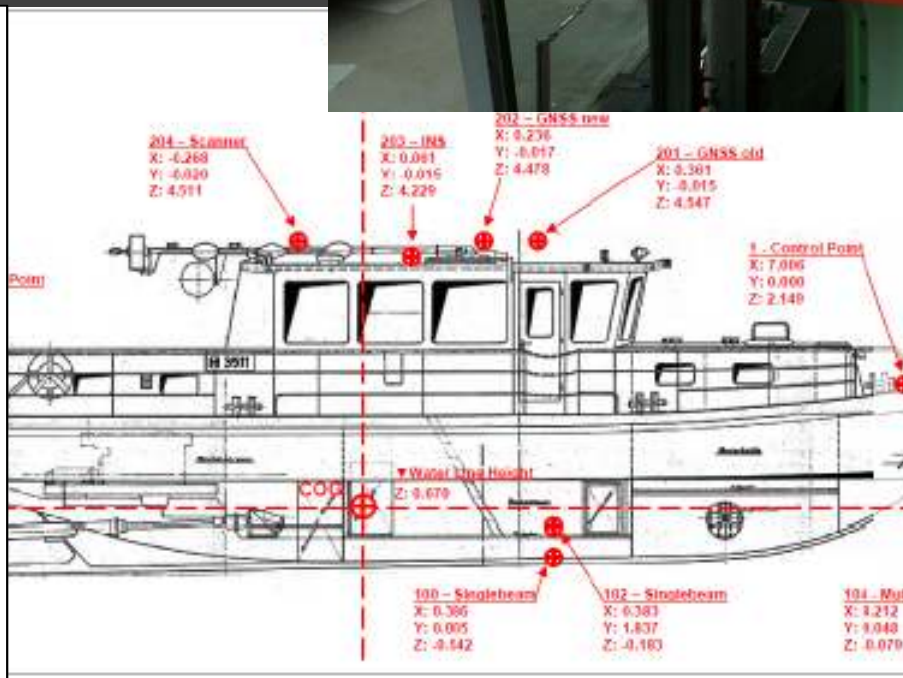
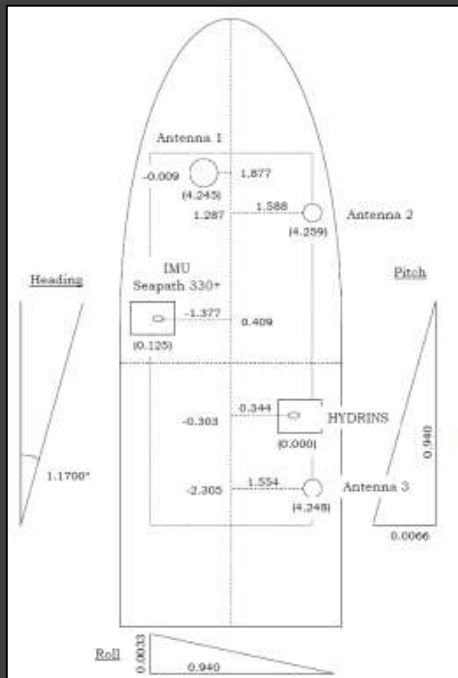
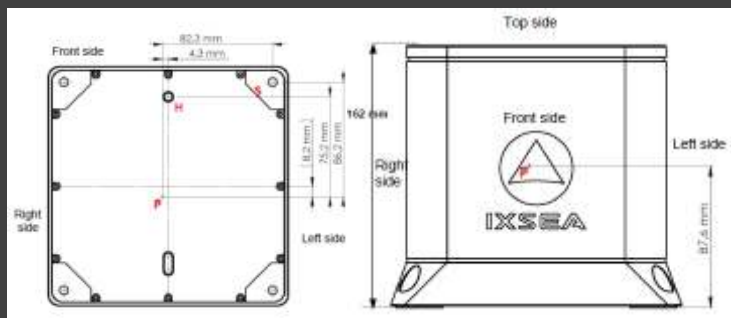


Messkonzept / Testsysteme

| | POSMV 320 | Wavemaster | HYDRINS | PHINS | INAV-RQH-1003 | Seapath 330+ / MRU5+ |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| GNSS / INS integration mode | tightly coupled, loosely possible | tightly coupled, loosely possible | loosely coupled | loosely coupled | tightly coupled, loosely possible | loosely coupled |
| Type of accelerometer | Silicon | Silicon | Pendulum | Pendulum | Servo | Linear |
| Type of gyro | FOG | RLG | FOG | FOG | RLG | MRG |
| Removable from base plate | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| RTCM / CMR | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| GNSS aided uncertainty | | | | | | |
| Heading [deg] | 0,01 | 0,015 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,04 |
| Pitch [deg] | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,005 | 0,01 |
| Roll [deg] | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,005 | 0,01 |
| Heave: constant part [m] | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | n.a. | 0,05 |
| Heave: variable part [%] | 5 | 5 | 5 | 5 | n.a. | 5 |
| Doppler log aided uncertainty | | | | | | |
| Heading [deg] | | | | 0,02 | 0,025 | |
| Pitch [deg] | n.a. | n.a. | n.a. | 0,02 | 0,01 | n.a. |
| Roll [deg] | | | | 0,02 | 0,01 | |
| Heave [m] | | | | 0,05 | - | |
| Unaided uncertainty | | | | | | |
| Heading [deg] | - | - | - | - | 0,04 | 0,04 |
| Pitch [deg] | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Roll [deg] | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Heave [m] | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | | 0,05 |
| Decrease in position accuracy [m/60sec] | 6 | 10 | 0,8 | 3 / 2min | 0,8 nm /hr | 3 / 2min |
| Calibration procedure | Self calibrating | Self calibrating | Factory calibration | Factory calibration | recommended all 2 years | Factory calibration |
| Software | | | | | | |
| Name | POSPac MMS | POSPac MMS | DelphINS | DelphINS | iMAR KFNAV Novatel Waypoint | n.a. |
| Filtering | Y | Y | | | Y | |
| Adaptable filter strength | Y | Y | | | Y | |
| Adaptable input signals | Y | Y | | | Y | |
| Integrity monitoring of position input | Y | Y | Y | Y | Y | |
| Integrity monitoring of log input | | | Y | Y | Y | |



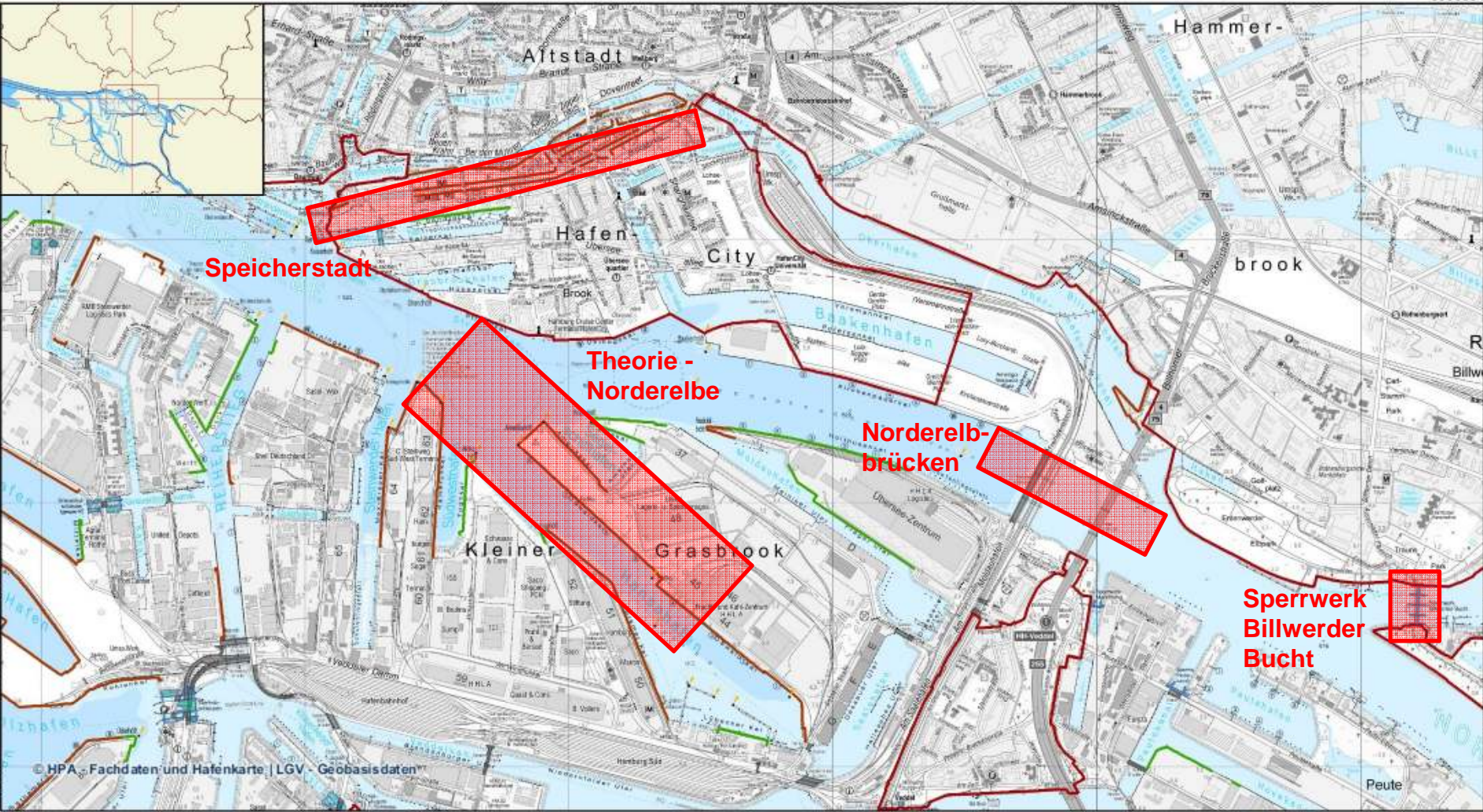
Messkonzept / Testsysteme





Testgebiete INS-Untersuchung

5933894



5930834

Autor: Thomas Thies

Datum: 29.05.2014



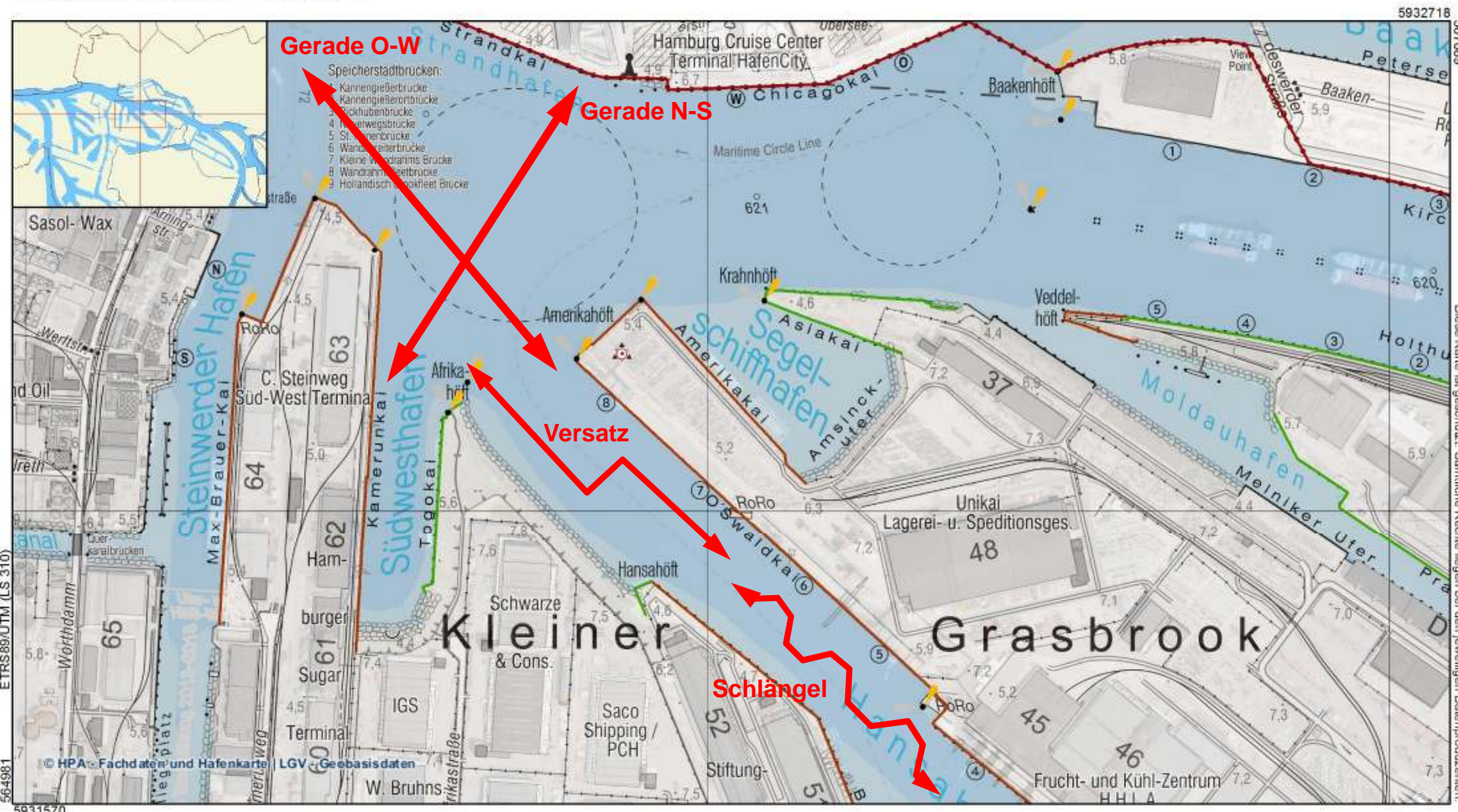
HPA Hamburg Port Authority
Anstalt des öffentlichen Rechts
Neuer Wandrath 4
20457 Hamburg

Diese Karte ist geschützt. Sämtliche Rechte liegen bei den jeweiligen Datenproduzenten.



Messaufgabe und Untersuchungskonzept – Untersuchungsgebiet Theorie

Messgebiet Norderelbe / Hansahafen





Messaufgabe und Untersuchungskonzept – Untersuchungsgebiete praxisnah

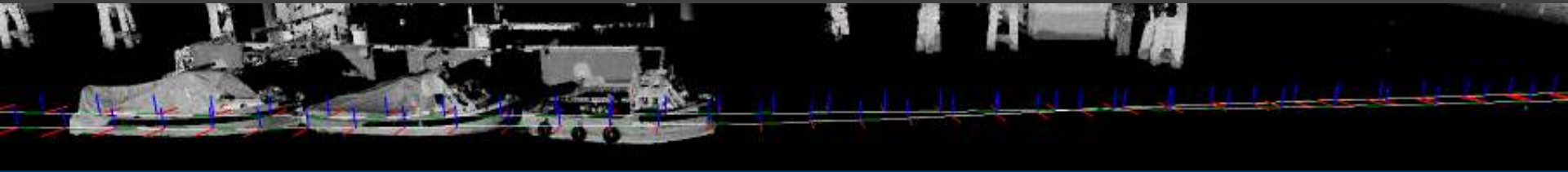




Messaufgabe und Untersuchungskonzept – Umsetzung

Installation, Inbetriebnahme und Testmessungen:

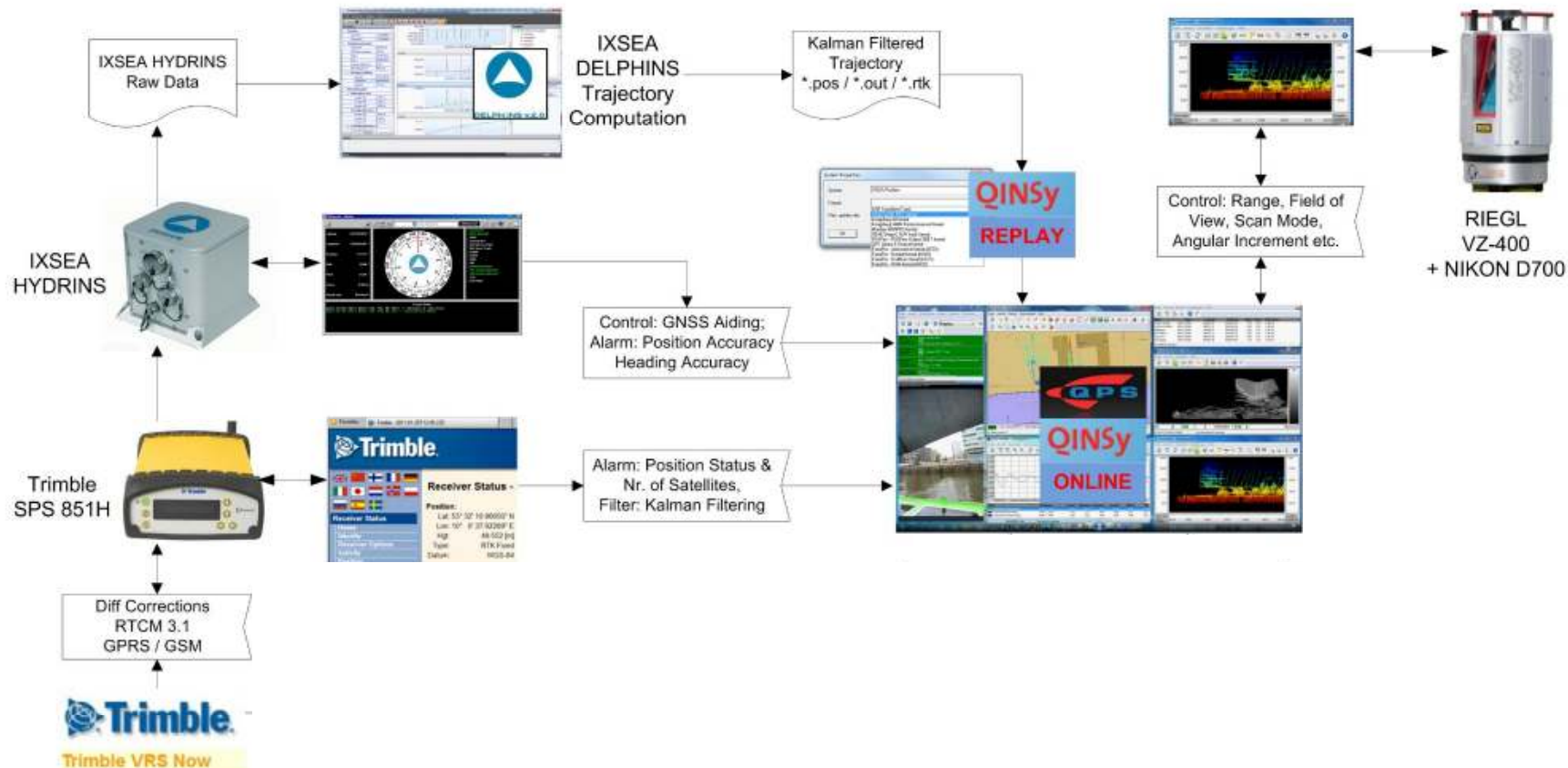
- Die Messungen der Untersuchung wurden im Zeitraum 09.2013 – 12.2013 an Bord des HPA Messschiffes „Deepenschriewer III“ durchgeführt
- Die Testsysteme wurden nacheinander in allen Testszenarien untersucht
- als Referenz für die Theorielinien dient die RTK-GNSS Bordanlage (Trimble SPS851 + VRSNow)
- Referenz für die Praxislinien ist zum Teil die RTK-GNSS Bordanlage in Kombination mit LaserScan's
- In abgeschatteten Gebieten wurden mobile LaserScans gegen einen Referenzscan gerechnet, heißt, der Objektraum ist Hilfsfläche beim Vergleich zwischen Soll- und Ist-Positionierung
- Für die Installation der Systeme war jeweils ein Service-Ingenieur des Geräteherstellers verantwortlich
- Die Testdatensätze wurden bei Problemen den Geräteherstellern zur Überprüfung zur Verfügung gestellt
- die Datenerfassung und Prozessierung erfolgte ausschließlich mit der Software QPS QINSy 8.1 und den Postprozessierungstools der INS-Gerätehersteller





Workflow Diagram – INS Tests (Sensors and Software)

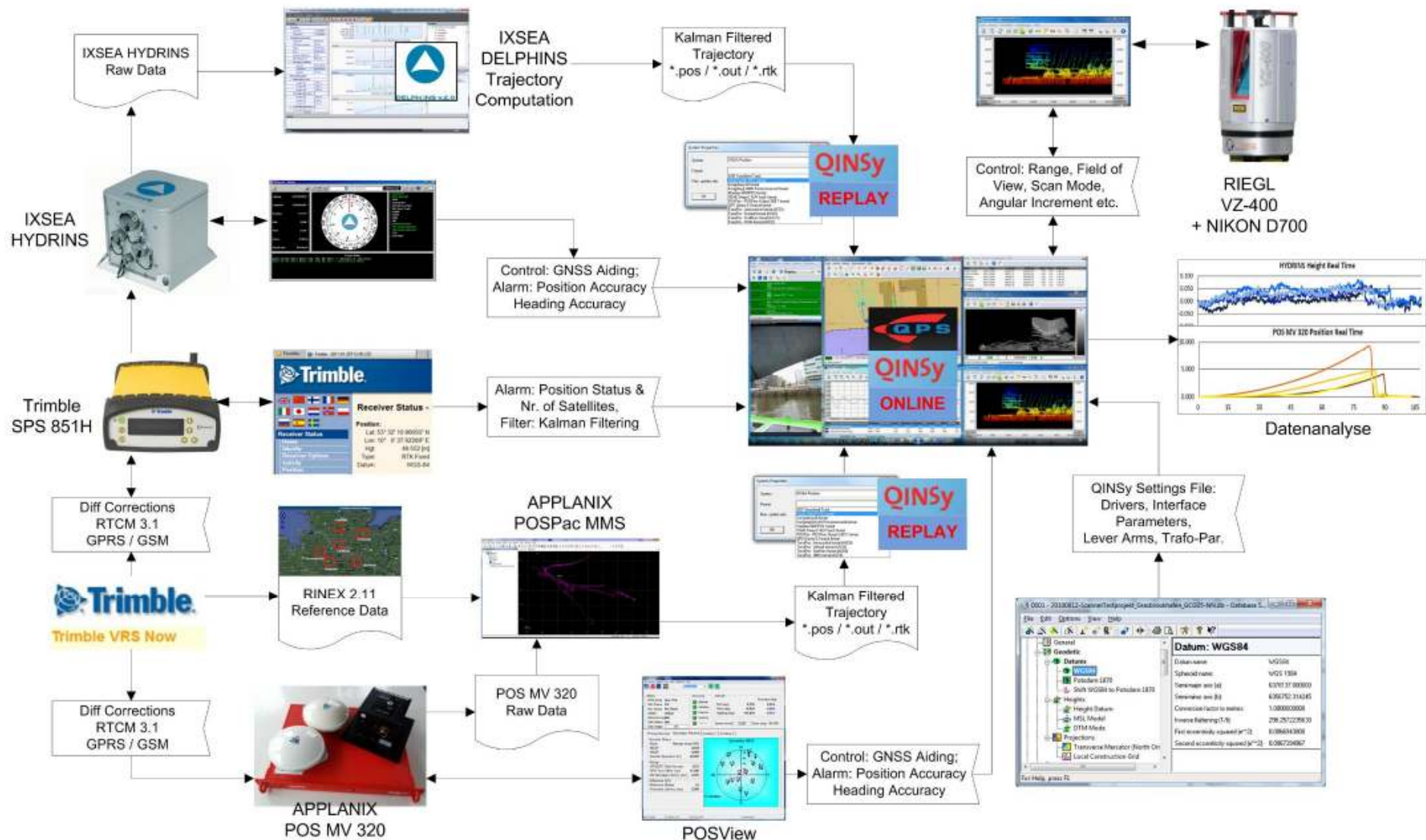
Online Integration and Synchronisation (Time+Position) of all included Sensors to registered and georeferenced Datasets (XYZ) as well as Offline Import of postprocessed Trajectories





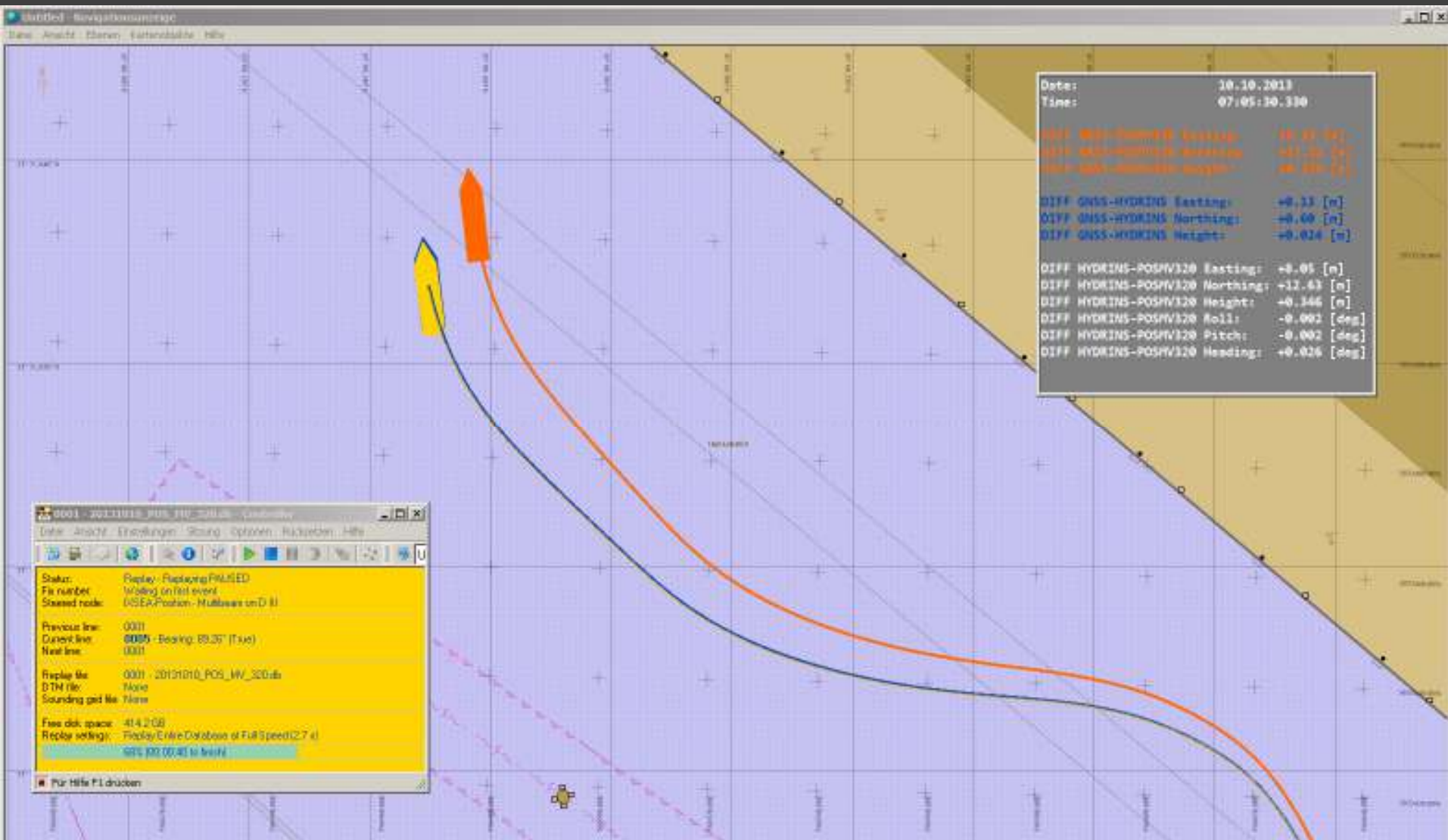
Workflow Diagram – INS Tests (Sensors and Software)

Online Integration and Synchronisation (Time+Position) of all included Sensors to registered and georeferenced Datasets (XYZ) as well as Offline Import of postprocessed Trajectories





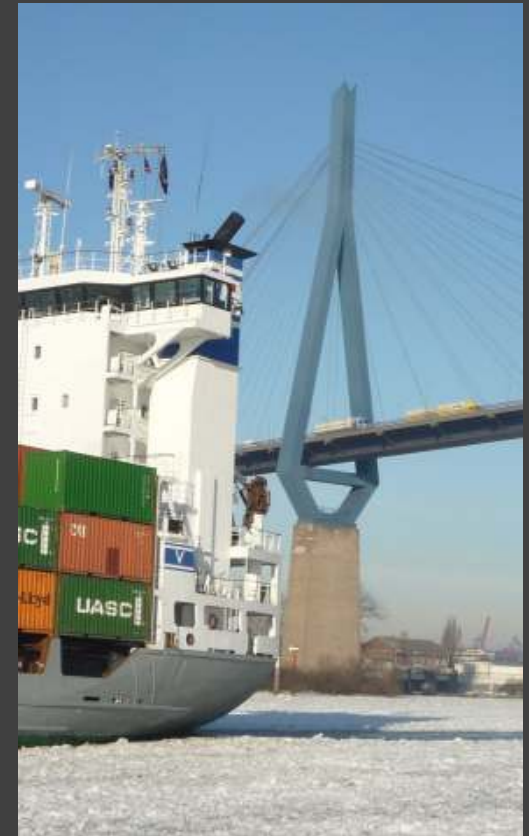
Messaufgabe und Untersuchungskonzept – Umsetzung





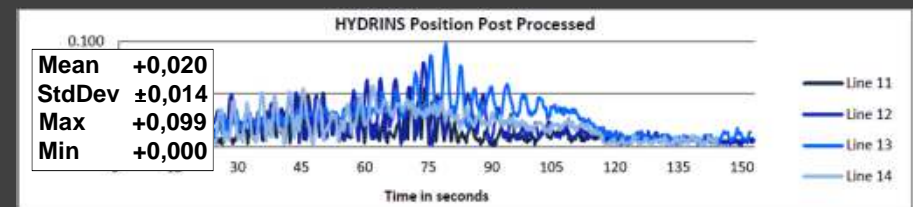
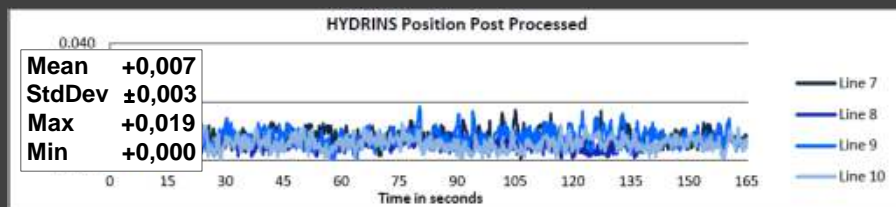
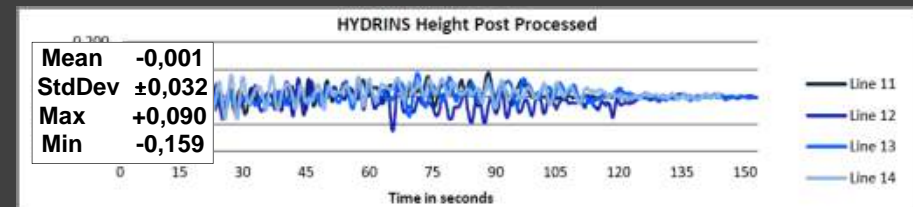
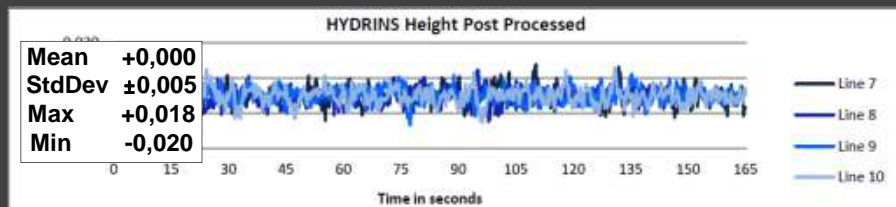
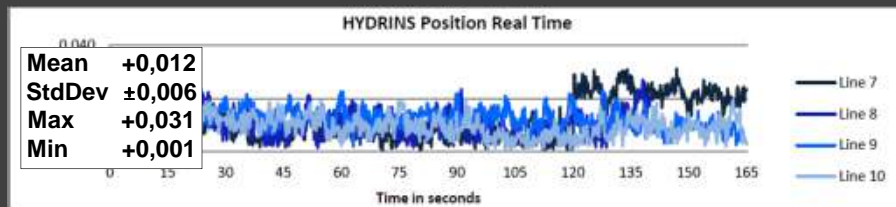
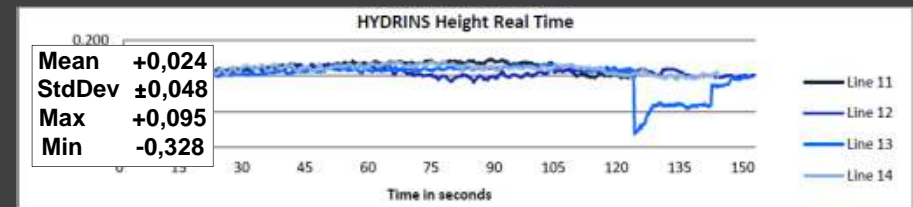
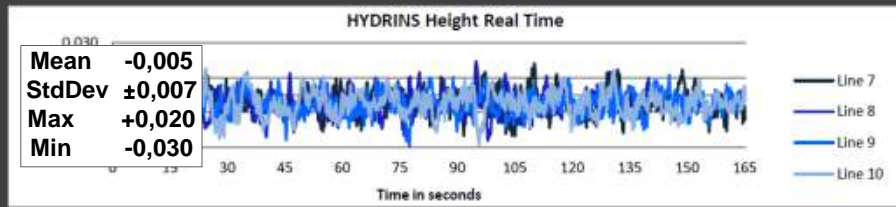
04

Ergebnisdarstellung
*Theorie- und praxisnahe
Testmessungen*





Ergebnisdarstellung – Theorielinien / Differenzen zur GNSS-Referenzposition

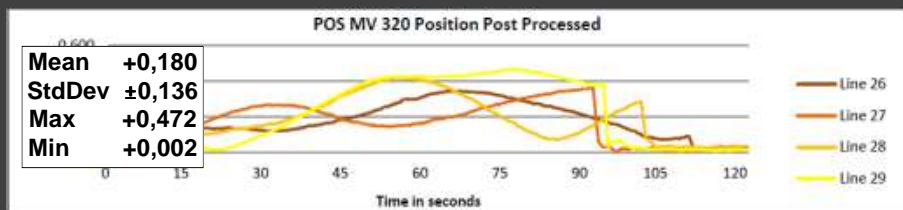
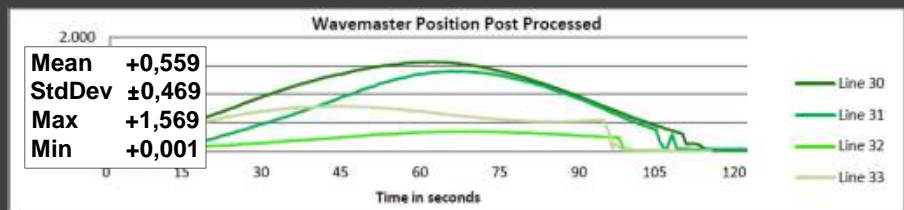
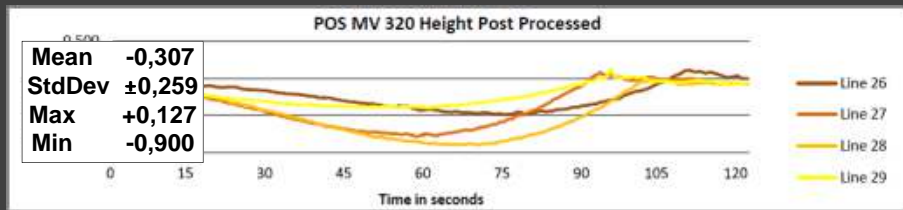
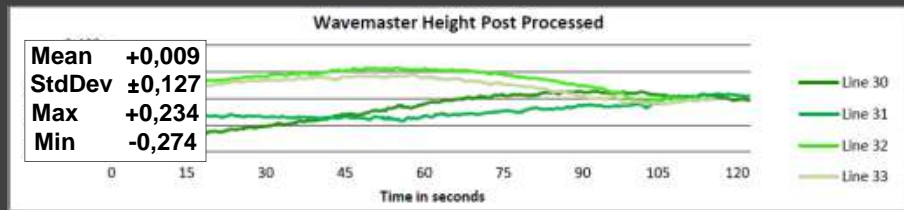
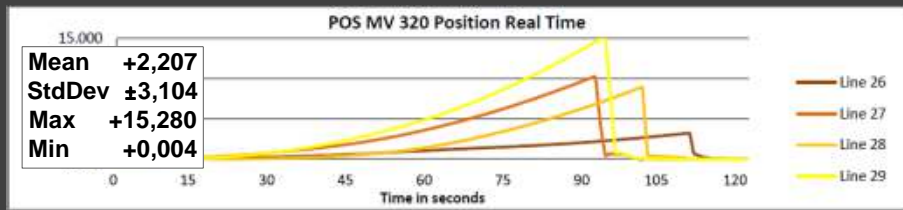
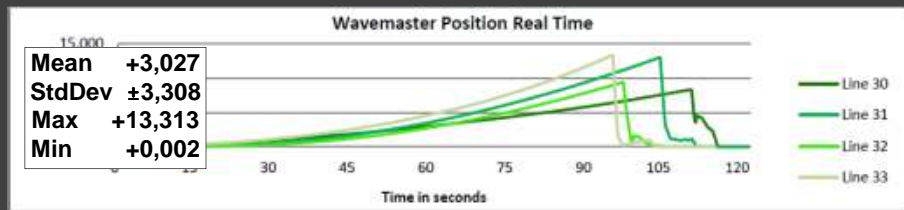
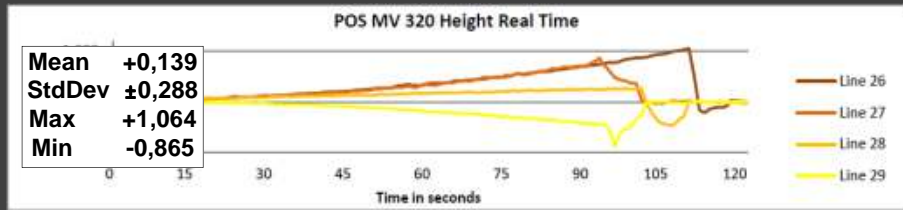
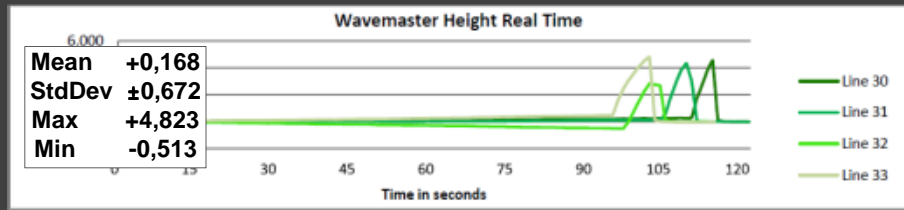


Gerade N-S, V = konstant 4-5kn, GNSS On

Gerade N-S, V = konstant 4-5kn, GNSS Off



Ergebnisdarstellung – Theorielinien / Differenzen zur GNSS-Referenzposition



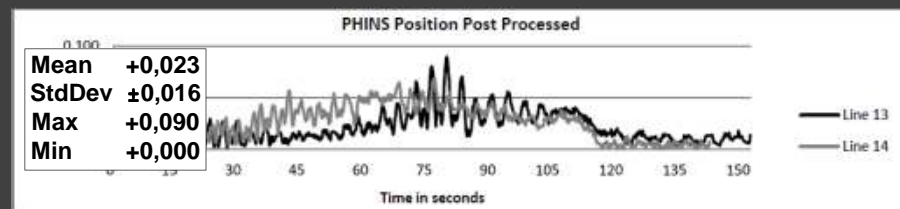
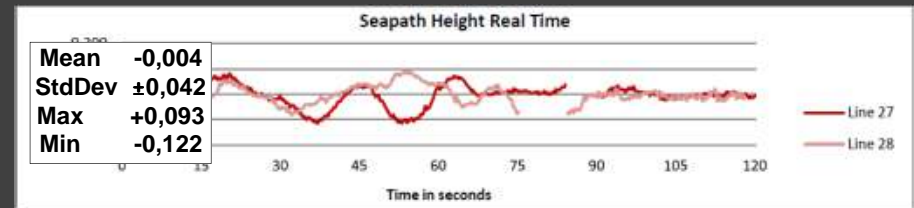
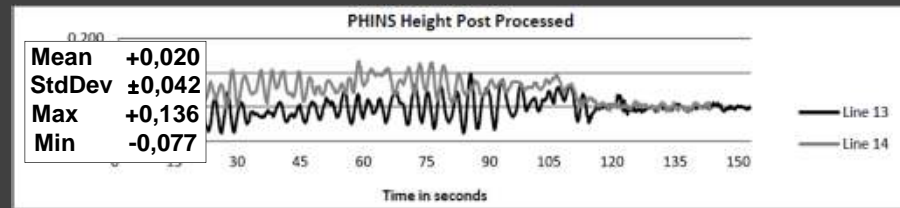
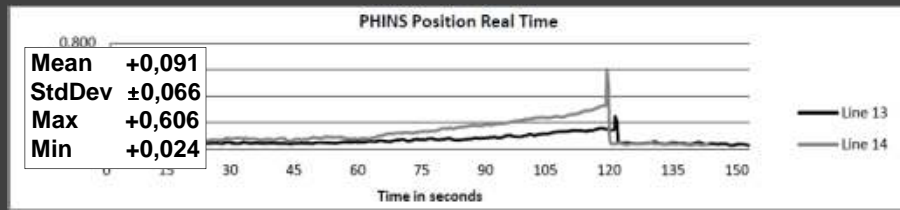
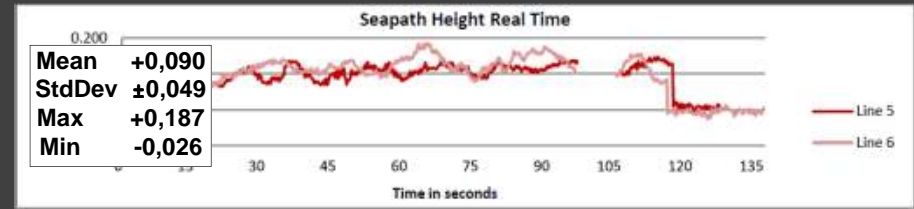
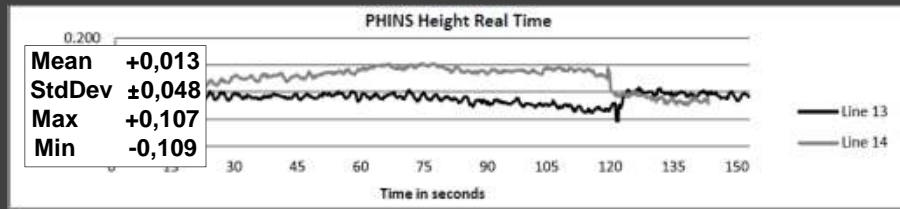
Gerade N-S, V = konstant 4-5kn, GNSS Off

Gerade N-S, V = konstant 4-5kn, GNSS Off



Ergebnisdarstellung - Theorielinien

Gerade N-S, V = beschleunigt 4→8kn, GNSS Off



Gerade N-S, V = beschleunigt 4→8kn, GNSS Off

Schlängel, V = beschleunigt 4→8kn, GNSS Off



Ergebnisdarstellung – Theoriemessungen

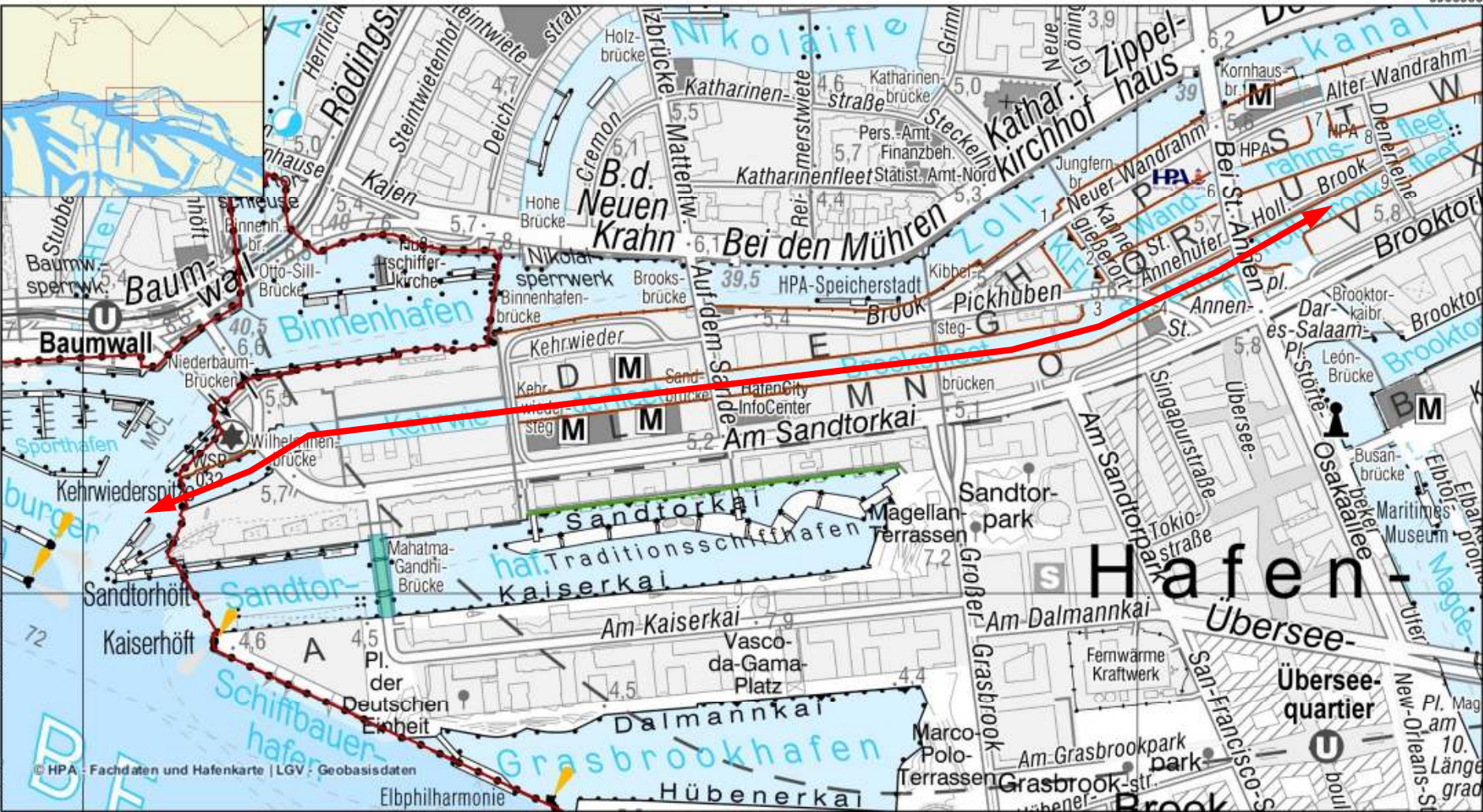
Zusammenfassung Messergebnisse Theorielinien:

- **Spektrum der Ergebnisse ist breit gefächert und stellt ausschließlich die Güte der inertialen Komponenten der Systeme sehr anschaulich dar**
- **Bei Messlinien mit GNSS-Stützung befinden sich alle Systeme im vergleichbaren Genauigkeitsbereich = hohe Qualität der räumlichen und zeitlichen Synchronisierung**
- **Bei Messlinien ohne GNSS-Stützung überzeugen vor allem die IXBLUE Systeme, die sowohl Online aber vor allem in der Postprozessierung die Systemspezifikation qualitativ deutlich übertreffen**
- **durch komplettes Abschalten der GNSS-Stützung während der Messungen, Aufhebung des theoretische Vorteils der „tightly coupled“ Lösung der Applanix-Systeme, so dass Ergebnisse beider Systeme sehr unbefriedigend aber vergleichbar sind**
- **Durch Postprozessierung der Applanixdaten deutliche Verbesserung der Positionsbestimmung, aber Verschlimmbesserung der Höheninformation**
- **Stützung des PHINS mit DVL führte statt zur Verbesserung der Positionierung in Bereichen ohne GNSS, zu einer Verschlechterung der Positionierung und vor allem der Höheninformation**
- **Die Lagewinkelinformationen sind im Rahmen der Messgenauigkeiten nahezu identisch, wobei Zweiantennensysteme mit Basis $>4\text{m}$ stabilere und genauere Kursinformationen liefern**



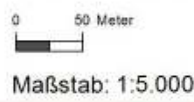


Messgebiet Speicherstadt



564923
 5932793
 Autor: Thomas Thies

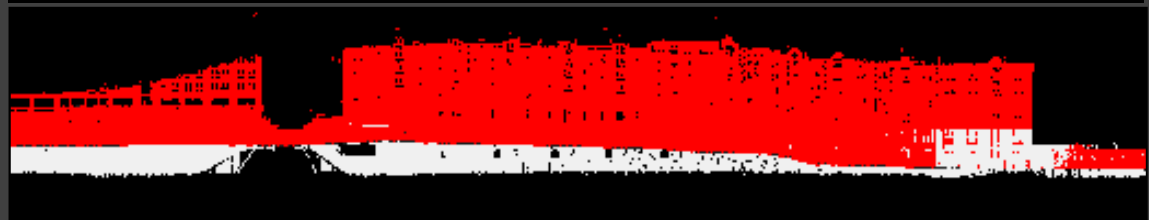
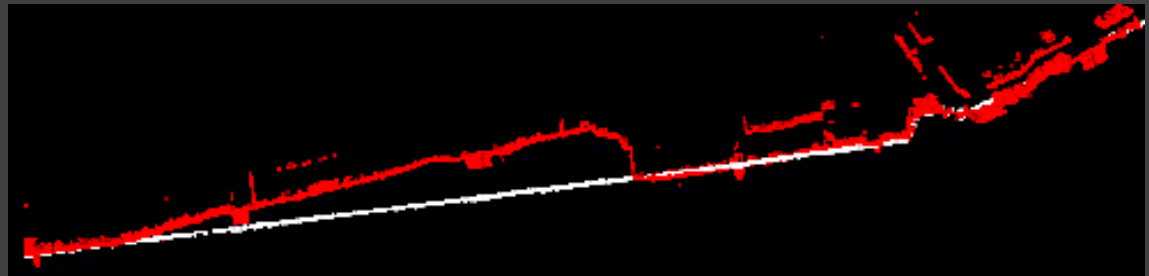
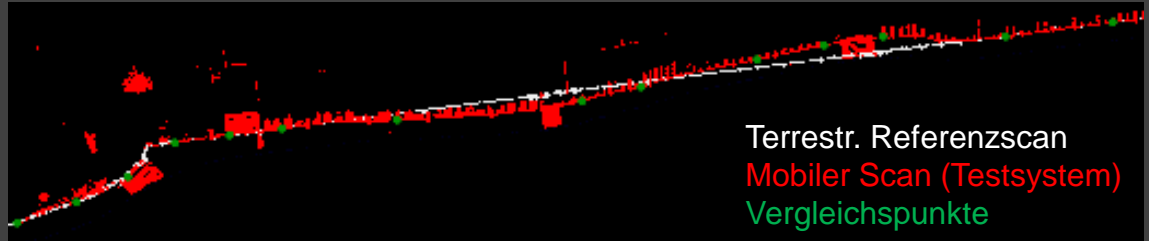
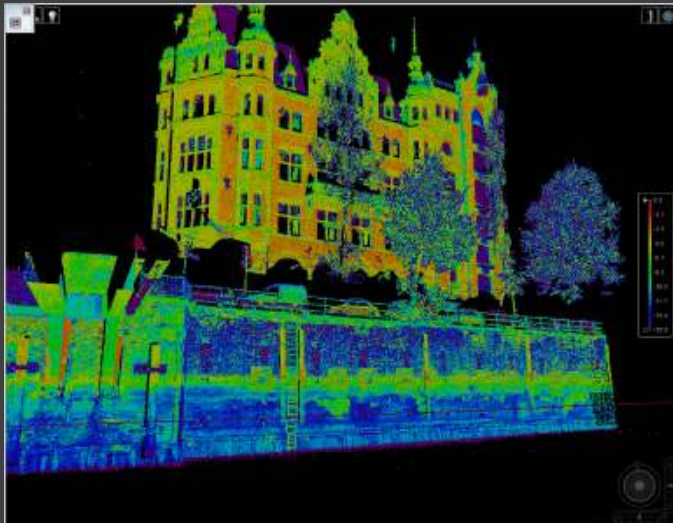
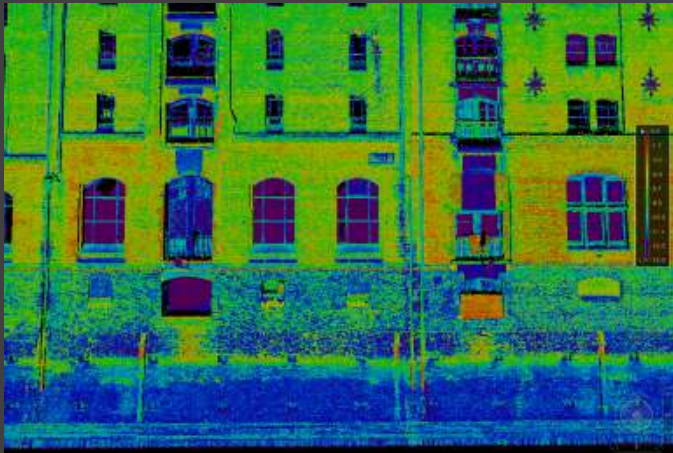
Datum: 31.05.2014



HPA Hamburg Port Authority
 Anstalt des öffentlichen Rechts
 Neuer Wandrahm 4
 20457 Hamburg



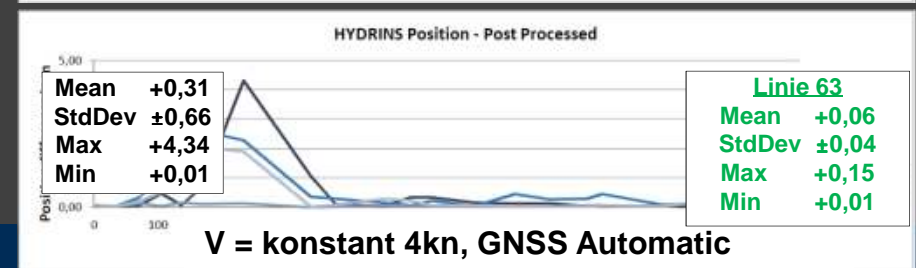
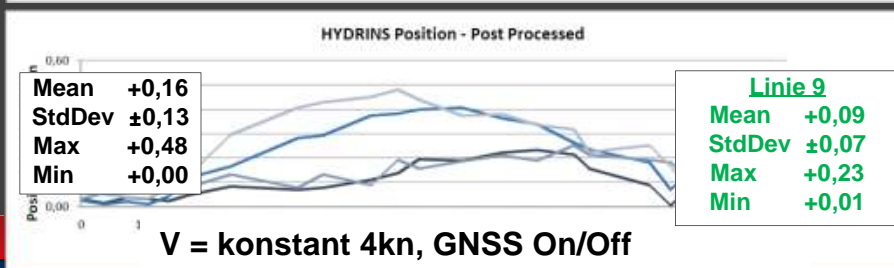
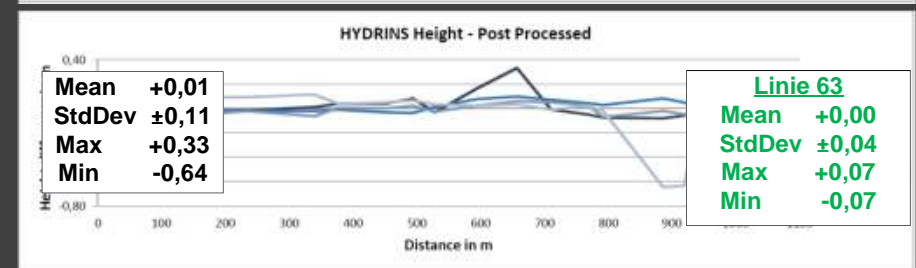
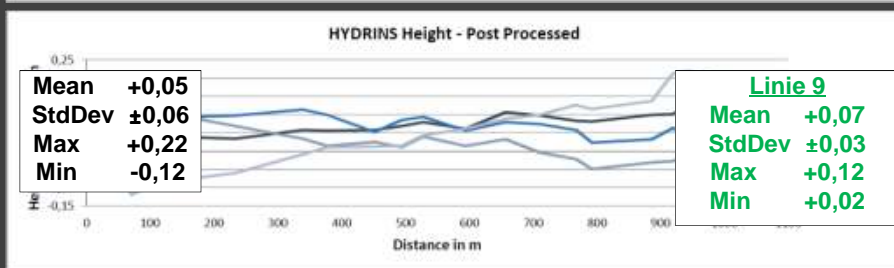
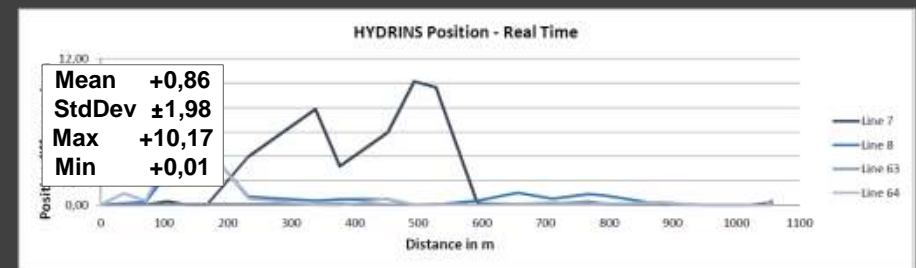
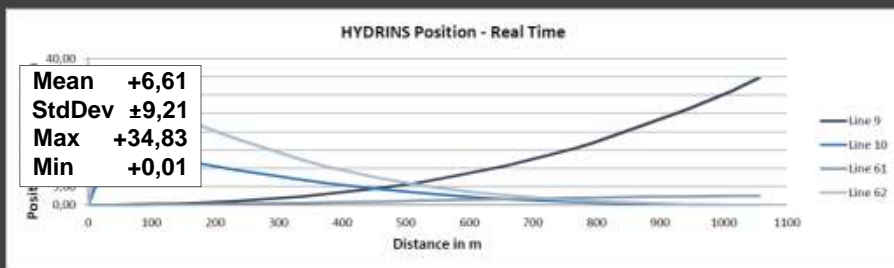
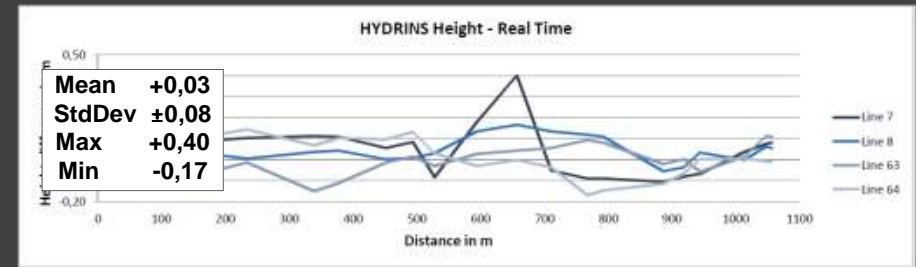
Ergebnisdarstellung – Worst Case Scenario „Speicherstadt“



Geometrischer Vergleich zwischen Objektpunkten aus Ref.- und Mobilem Scan



Ergebnisdarstellung – Worst Case Scenario „Speicherstadt“

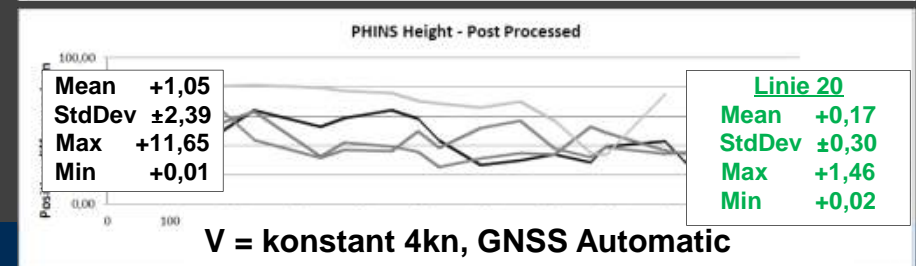
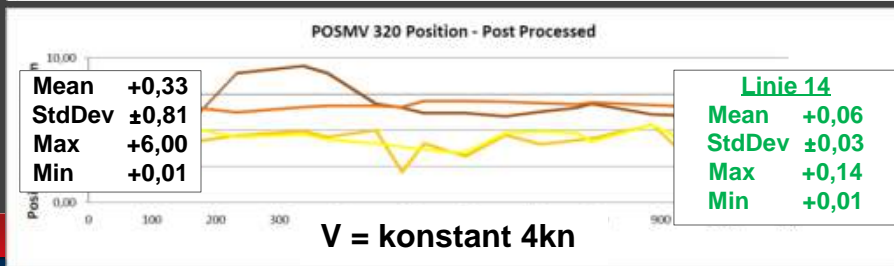
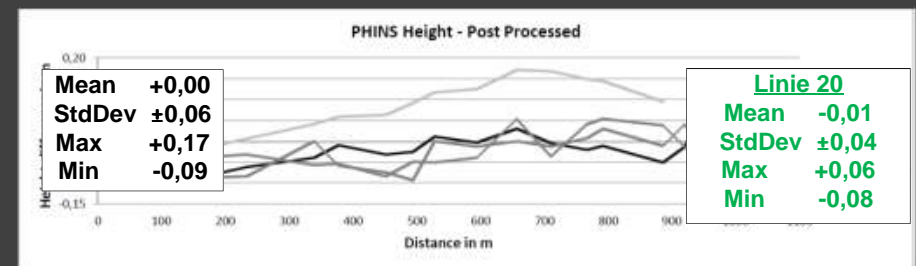
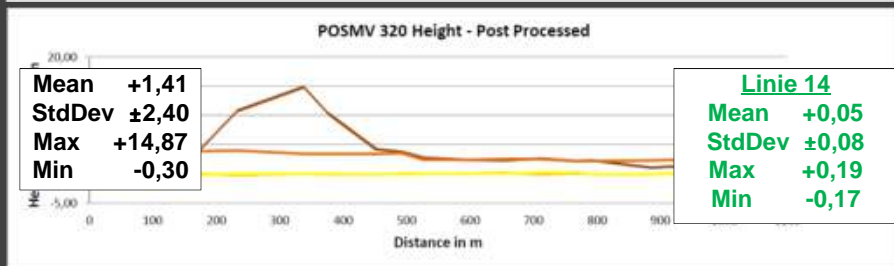
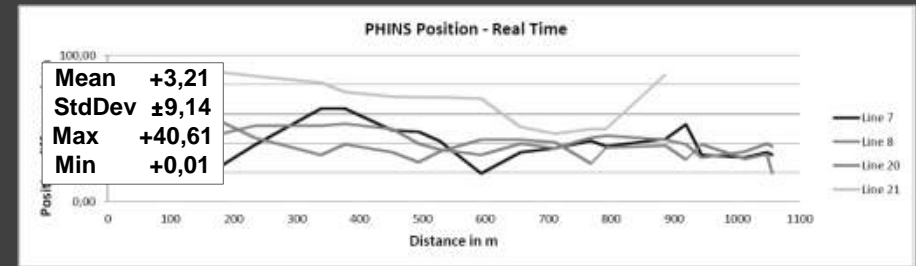
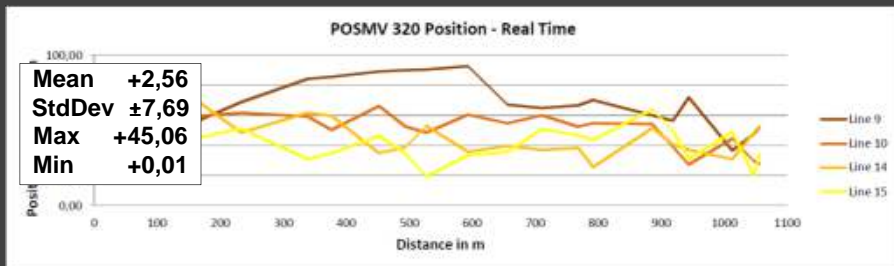
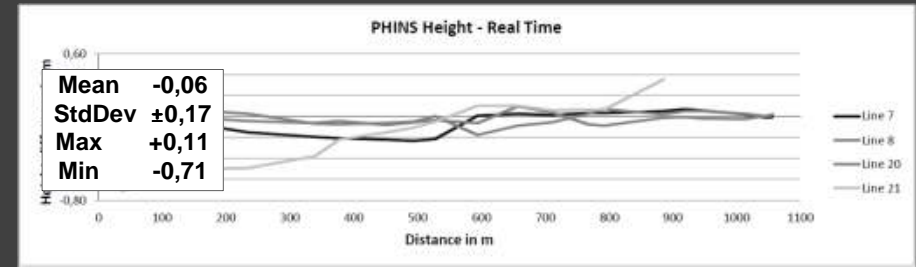
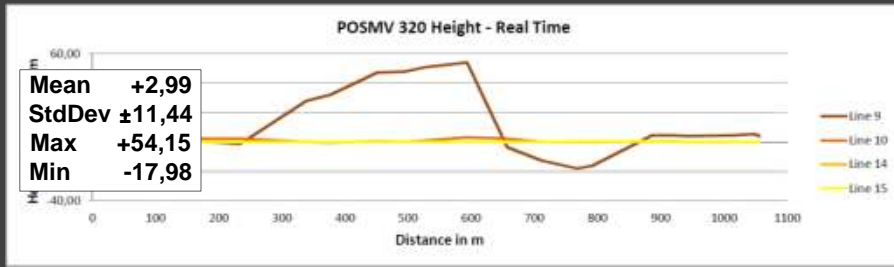


V = konstant 4kn, GNSS On/Off

V = konstant 4kn, GNSS Automatic



Ergebnisdarstellung – Worst Case Scenario „Speicherstadt“

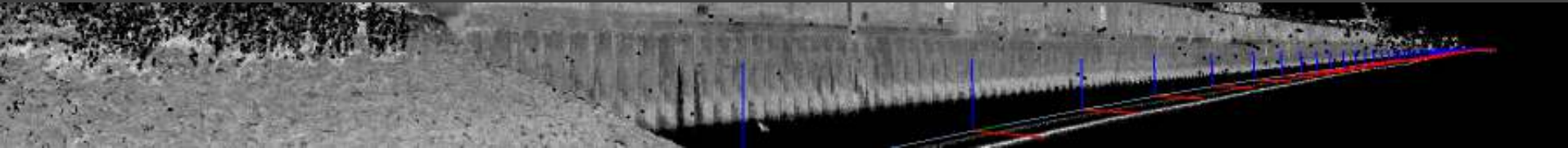




Ergebnisdarstellung – praxisnahe Messungen

Zusammenfassung Messergebnisse Praxislinien:

- Spektrum der Ergebnisse wiederum breit gefächert, wobei für die „loosely coupled“ Systeme die Ergebnisse der Theoriemessung auf der Norderelbe bestätigt werden
- Die IXBLUE Systeme liefern beinahe identische Ergebnisse ab, wobei eine Stützung des PHINS im automatischen GNSS-Modus mit einem DVL eine geringe Genauigkeitssteigerung erzielt
- Im Gegensatz zum Messmodus „GNSS Automatic“ erzielt die Methode „GNSS on/off“ tlw. eine Genauigkeitssteigerung sowohl in Lage als auch Höhe, ist aber jederzeit reproduzierbar
- Der theoretische Vorteil der „tightly coupled“ Lösung der Applanix-Systeme macht sich bemerkbar, so dass das POS MV 320 in zwei Messfahrten nach der Postprozessierung zumindest ebenbürtige Ergebnisse im Vergleich zu den IXBLUE Systemen liefern kann, leider sind diese nicht jederzeit reproduzierbar
- Aufgrund der fehlenden Postprozessierungsmöglichkeiten liefert das Kongsberg System mit der Online-Lösung nur unzureichende Ergebnisse ab, zeigt aber, dass die Höhenkomponente sehr stabil (gefiltert) ausfällt





05

Zusammenfassung / Ausblick





Zusammenfassung

INS bei Mobile Mapping Anwendungen:

- Aufgrund der hohen Genauigkeiten in der 3D-Positons- und Lagebestimmung von Schiffen sind INS-Sensoren für Mobile Mapping Anwendungen unverzichtbar
- In Bereichen mit guter GNSS-Abdeckung (inkl. Korrekturdaten) sind ohne Verwendung von Passpunkten Messgenauigkeiten kleiner $\pm 5\text{cm}$ bei Objektabstand von max. 100m möglich, mit Verwendung von 3D Passpunkten Messgenauigkeiten kleiner $\pm 2\text{cm}$

Installation und Handling der Testsysteme an Bord:

- relativ problemlose Integration fast aller Testsensoren in das Messsystem an Bord
- mehr oder weniger übersichtliche / intuitive Bedienoberfläche vorhanden, Möglichkeiten für einen Benutzereingriff in die Funktionsweise des Filters nur beschränkt möglich
- hochgenaue Positionslösung bei allen Systemen nur wenige Minuten nach Systemstart

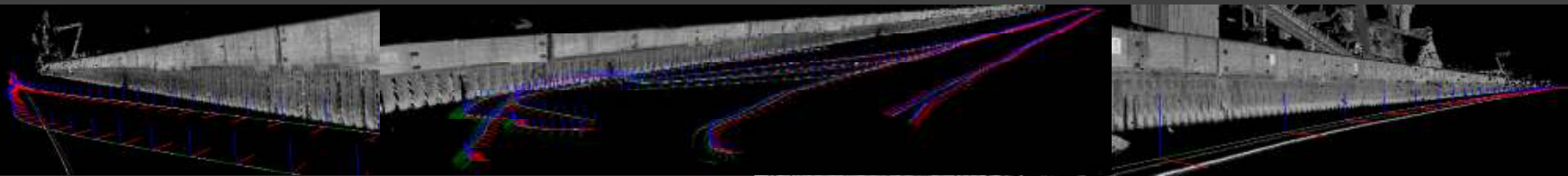
Positionierungsergebnisse für Testsysteme:

- bei kurzen GNSS-Unterbrechungen (<30sec) sind alle Systeme in der Lage die Ortungslücke in ausreichend (Definitionssache) hoher Genauigkeit, tlw. im Online-Modus zu schließen
- bei längeren GNSS-Ausfällen ist eine Postprozessierung nötig, wobei manueller Eingriff in den Kalmanfilter die reproduzierbarsten und damit zuverlässigsten Ergebnisse lieferte
- der „tightly coupled“ Ansatz lieferte in kritischen Bereichen tlw. gute aber kaum reproduzierbare Ergebnisse = geringe Zuverlässigkeit, Online Qualitätssicherung nicht möglich



Ausblick / Weiterer Forschungsbedarf

- Optimierung der automatischen Kalmanfilter innerhalb von tightly coupled INS-Systemen (Gewichtung von einzelnen Messdaten anhand von aussagekräftigeren Genauigkeitsparametern von GNSS)
- Integration von Matching-Algorithmen für das Zusammenführen von hochgenauen Karteninformationen mit mobilen Laserscandaten zur Positionsbestimmung (Simultaneous Localization and Mapping SLAM-Algorithmen) → Was passiert bei dauerhaftem GNSS-Ausfall?
- Verbesserung der Trajektorien durch mobiles Laserscanning und 3D-Vergleich mit Referenzdatensätzen (Passpunkten) wie z.B. mit RIEGL RiPrecision
- Projekt HydrOs von BfG (Referat M5 Geodäsie) und Institut für Ingenieurgeodäsie der Universität Stuttgart „Entwicklung von Echtzeit- und Post-Processingverfahren zur Verbesserung der bisherigen Ortung mit GNSS durch Kombination mit weiteren Sensoren sowie hydrologischen Daten“ Laufzeit: 04/2012 – 03/2015





Kontakt

Thomas Thies

Hamburg Port Authority

Neuer Wandrahm 4

20457 Hamburg

Tel. (040) 42847 - 2849

E-Mail: Thomas.Thies@hpa.hamburg.de



Stefan Benecke

HafenCity Universität Hamburg

Überseeallee 16

20457 Hamburg

Stefan.Benecke@hcu-hamburg.de

