



# Navigation von RPAS

## Ahorn 2014 Graz

Markus Dorn  
Institut für Navigation  
Nawi Graz, Technische Universität Graz  
[markus.dorn@tugraz.at](mailto:markus.dorn@tugraz.at)



- OMOSA (Open Modular/Open Source Avionics Architecture for Remotely Piloted Aircraft Systems)
  - BMVIT/FFG: Programmlinie TAKE OFF 2013
  - Integration unbemannter Luftfahrzeuge in den zivilen Luftraum
  - Zur Zeit keine Standardisierung für zivile RPAS (Wettbewerbsnachteil)
  
- Konsortium
  - FH Joanneum (Institut für Luftfahrt / Aviation)
    - Lead, Systemarchitektur
  
  - TU Graz (Institut für Navigation)
    - Navigationsmodul
  
  - PIDSO
    - Antennenspezialist
  
  - Aerodyne Systems
    - RPAS-Unternehmen

**FH | JOANNEUM**  
University of Applied Sciences

**TU**  
Graz  
Graz University of Technology

**PIDSO**  
➤ Propagation Ideas & Solutions

**Aerodyne Systems**  
*intelligent airborne inspection*

- RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems)
  - RPAS beschreibt ganzes System mit unterschiedlichen Komponenten



Quelle: [www.ajssupportltd.wordpress.com](http://www.ajssupportltd.wordpress.com)

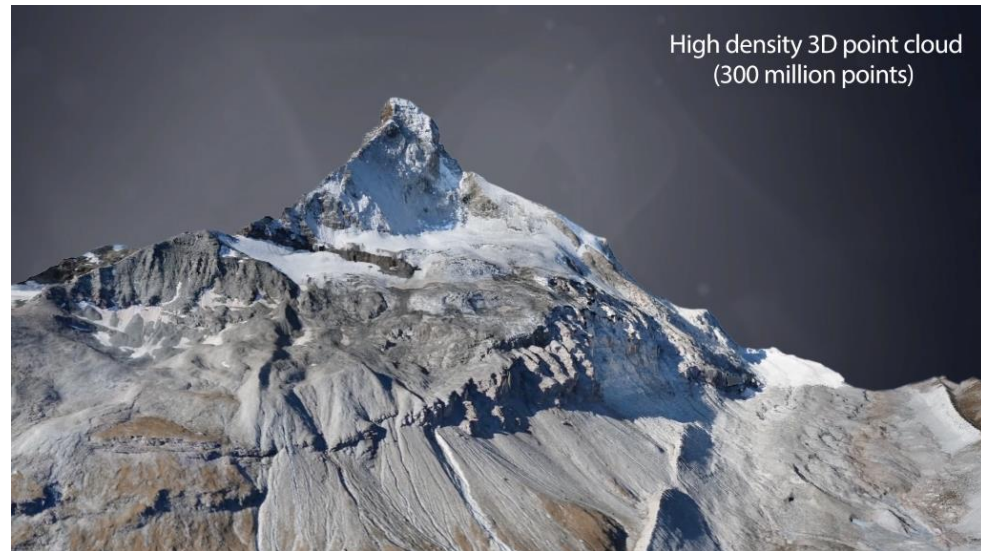
- RPAS im Projekt
  - VTOL-RPAS



© Aerodyne Systems



- RPAS in alpinen Gebieten
  - Kartographie
  - Wildtierbeobachtung und –zählung
  - Luftbildaufnahmen (Wildbachbegehung)
  - Katastrophen (Überflutungen, Brände, Sturmschäden)
  - Suche nach Berg- und Lawinenopfer

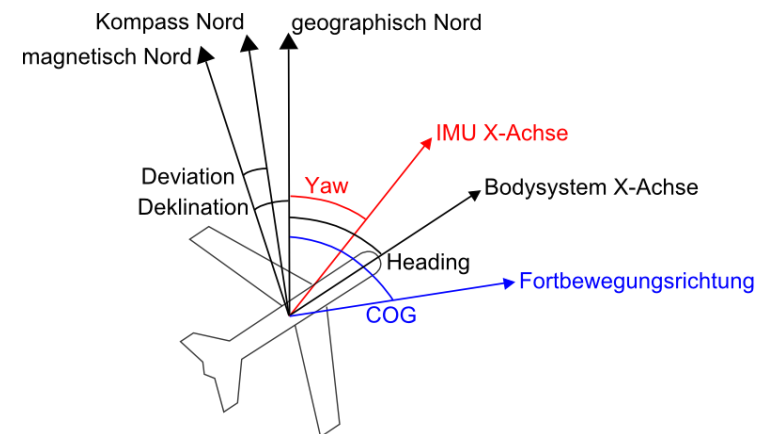


Quelle: [www.drohnen.de](http://www.drohnen.de) - Firma senseFly



## ■ Vergleich RPAS-Navigation und Navigation zu Land

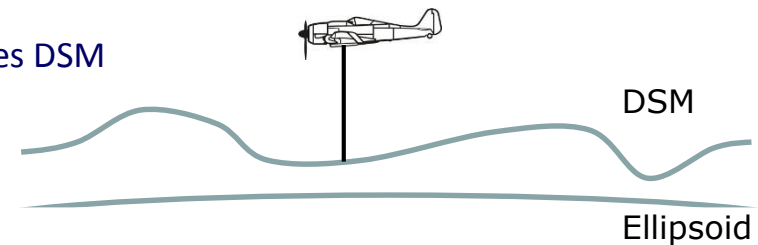
- Bisher: Erfahrungen aus Applikationen an Land
- Dynamik
  - Keine Stillstandsphasen und viele Bewegungsfreiheiten
- Vibrationen
- Abschattungen und magnetische Störeinflüsse
- Im Flug: Heading  $\neq$  COG (course over ground)
- Größe, Gewicht und Preis der Sensoren
  - Low-cost Sensorik



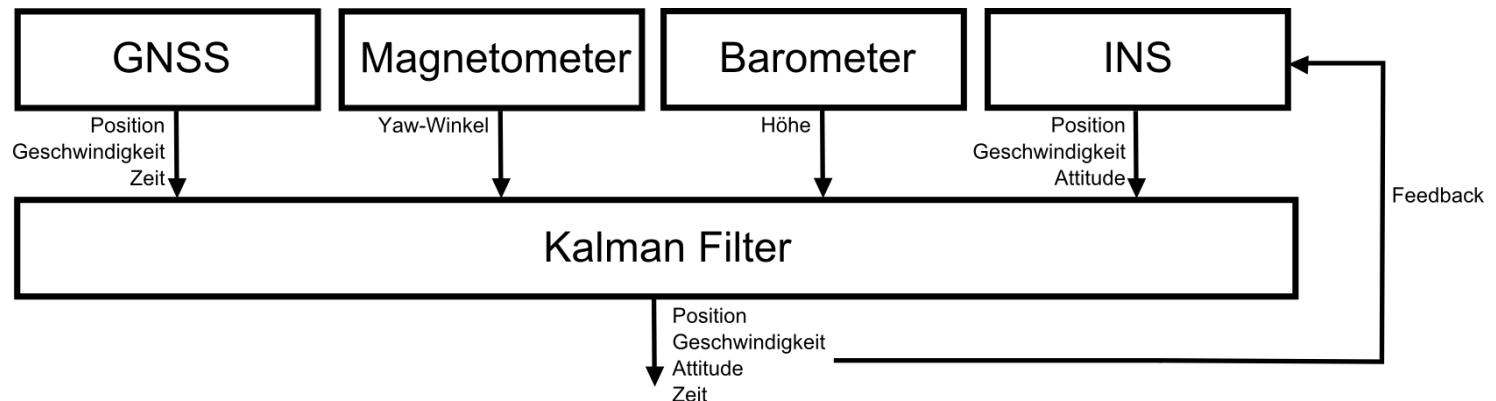


## ■ Potentielle Sensoren

- GNSS-Empfänger
  - Position, Geschwindigkeit und COG (course over ground)
  - Absolute Position, teilweise GNSS-Ausfälle
- Inertialsensoren
  - Position, Geschwindigkeit und Attitude mit hoher Abtastrate
  - Relative Position; systematische Fehler
- 3-Achs Magnetometer
  - Magnetischer Yaw-Winkel
  - Absolute Ausrichtung; Deviation und Deklination
- Barometer
  - Höhe
  - „absolute“ Höhe; Referenzwerte müssen bestimmt werden
- Höhenradar
  - Höhe über Grund
  - Wichtig für Landeanflug
  - Absolute Höheninformation mithilfe eines DSM
- Bildgebende Sensoren
- Usw.



- Gründe für Sensorintegration
  - Schätzung aller geforderten Parameter
  - Steigerung der Genauigkeit gegenüber einzelner Sensoren
  - Steigerung der Zuverlässigkeit (Ausfallsicherheit)
- Implementierung: lose gekoppeltes Extended Kalman-Filter

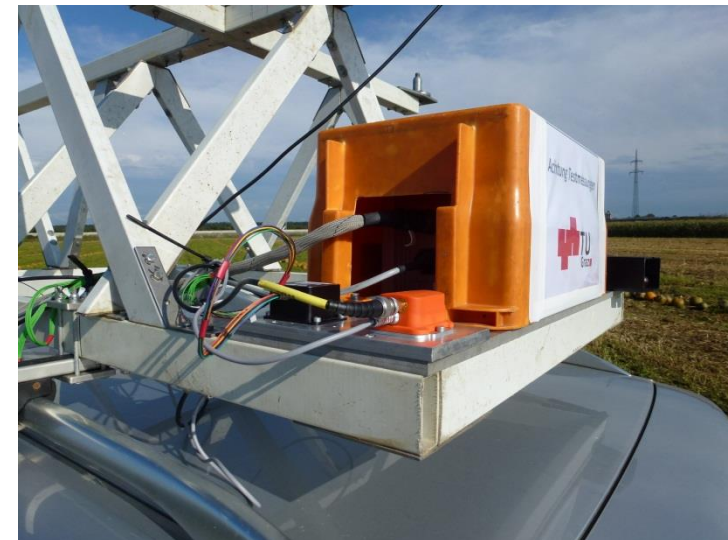


- Parameter: Position, Geschwindigkeit, Attitude, Inertialsensor-Offsets



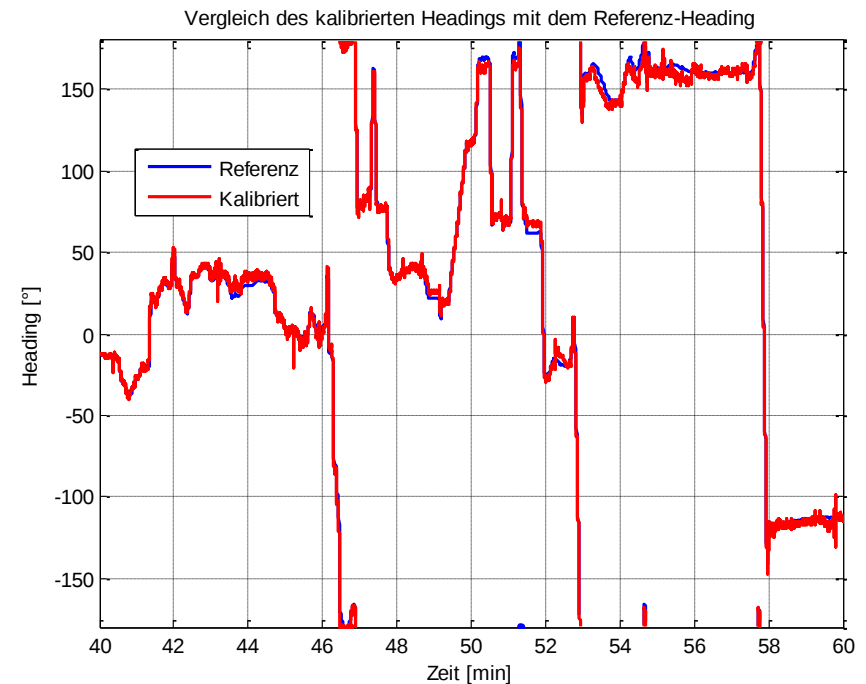
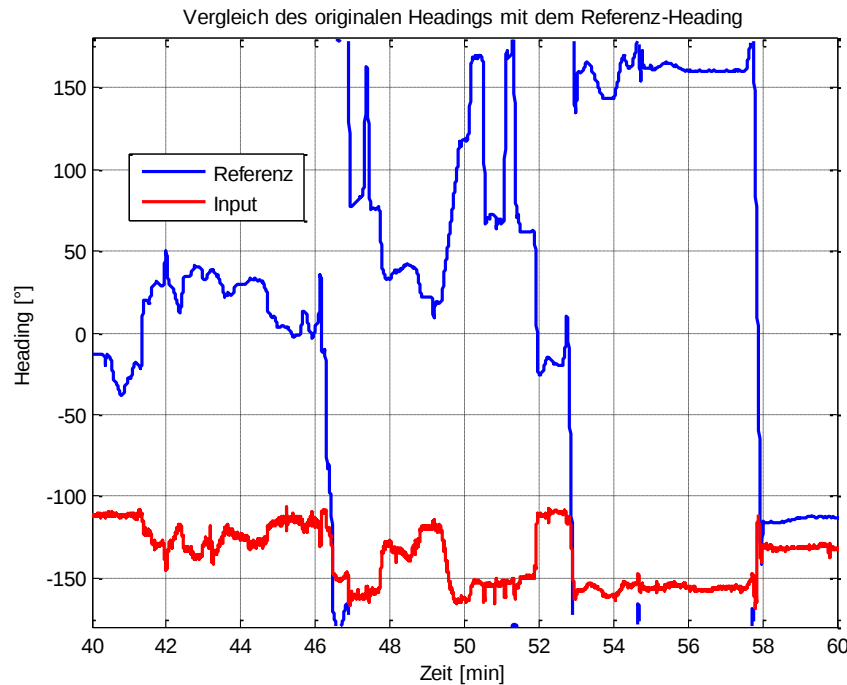
## ■ Messaufbau

- Testfahrt mit Auto zum Test der Algorithmik
- Sensoren für RPAS-Betrieb
  - Xsens MTi-G low-cost MEMS-IMU
    - Inertialsensoren, GNSS, Magnetometer, Barometer
    - Zeitsynchrone Messungen mit UTC-Zeitstempel
    - Reiner GPS/EGNOS Empfänger (kein GLONASS, Galileo, ...) -> SPP
- Referenzlösung für Untersuchungen
  - iNav-RQH hochpräzisions-IMU mit Ring-Laser Gyro
  - Javad Sigma Geodätischer 2-Frequenz Empfänger (GPS+Glonass) -> RTK
  - Postprocessing-Lösung mit Inertial Explorer von Waypoint
  - Eng gekoppeltes Kalman-Filter
  - Vorwärts und rückwärts ausgewertet



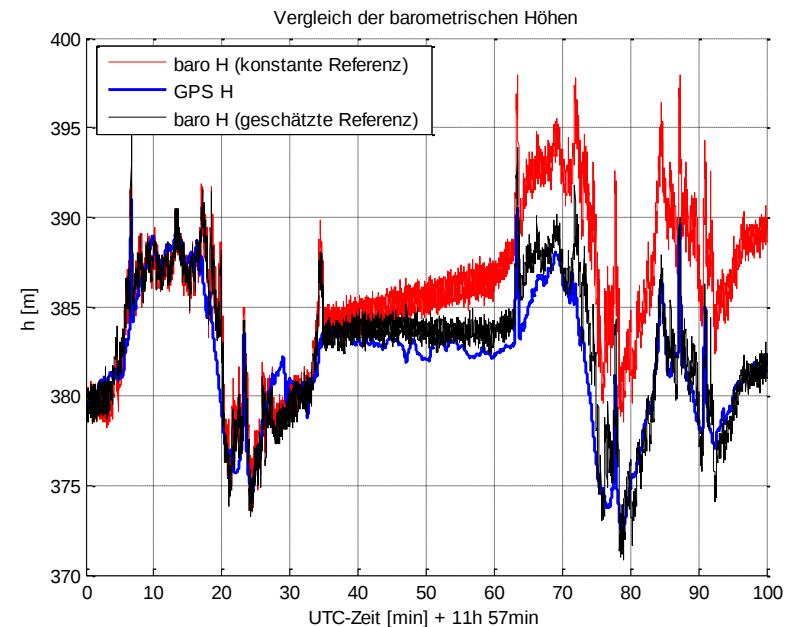


- Prozessierung der Magnetometermessungen
  - Permanent auftretende Deviation (durch z.B. Karosserie)
    - Magnetometer-Kalibrierung

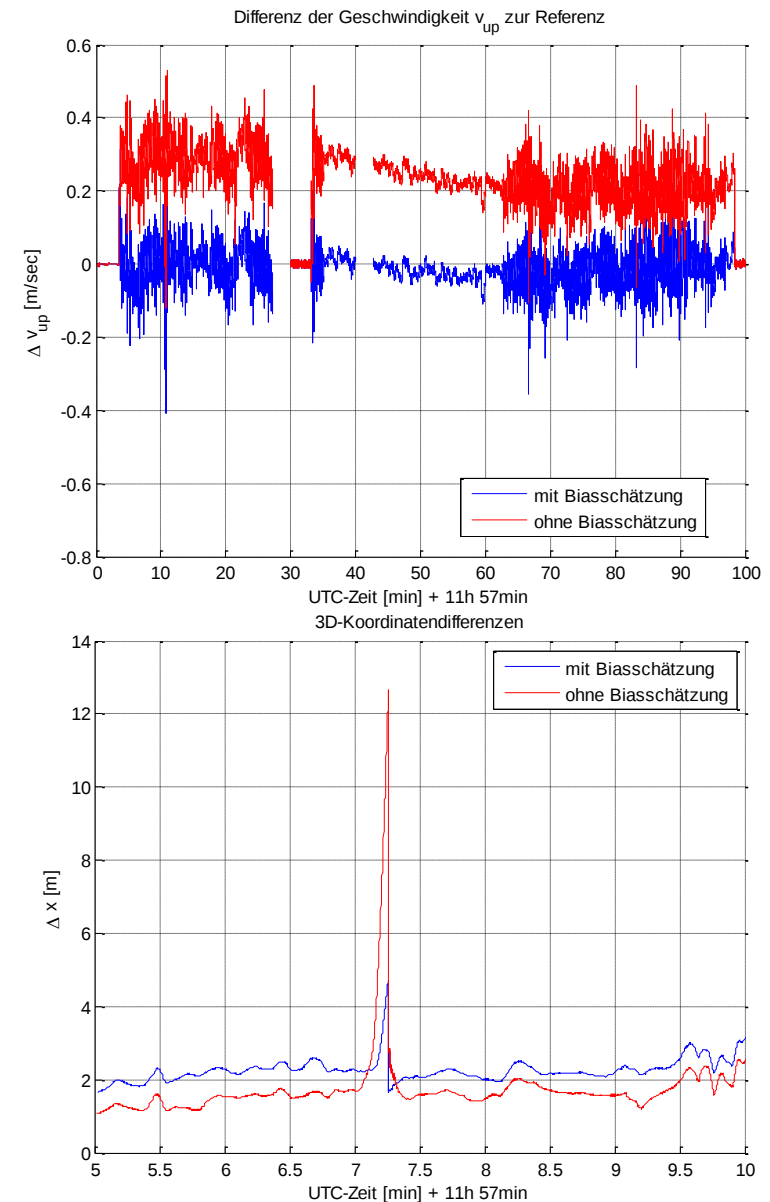


- Standardabweichung:  $2,6^\circ$  nach der Kalibrierung
- Temporär auftretende Deviation (durch z.B. entgegenkommende PKWs)
  - Ausreißerdetektion
- Deklination für lokale Anwendungen als konstanter Offset

- Prozessierung der Barometermessungen
  - Abhängigkeit von Referenzwerte (Referenztemperatur, -druck und -höhe)
  - Ansätze:
    - Verwendung der Standardatmosphäre
    - Referenzstation mit Temperatursensor und Barometer
    - Referenzwerte aus Alignment-Phase
    - Barometer als Relativsensor
  - Verwendeter Ansatz:
    - Konstante Referenztemperatur
    - Referenzdruck und -höhe in Kalman-Filter unter Verwendung der GPS Höhe schätzen
    - Modellierung der Atmosphäre über diese Parameter (Änderungen des Wetters)
  - Vorteil
    - Signifikante Verbesserung der IMU-Höhe bei GNSS-Ausfällen

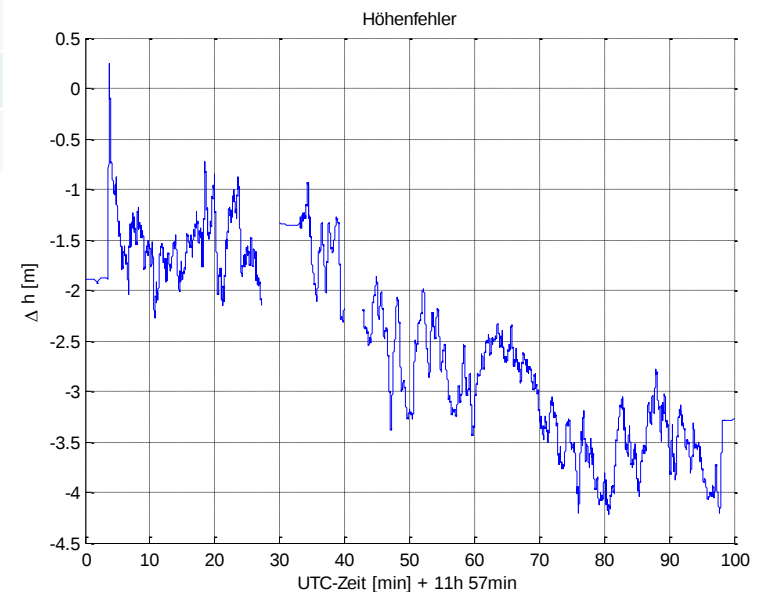
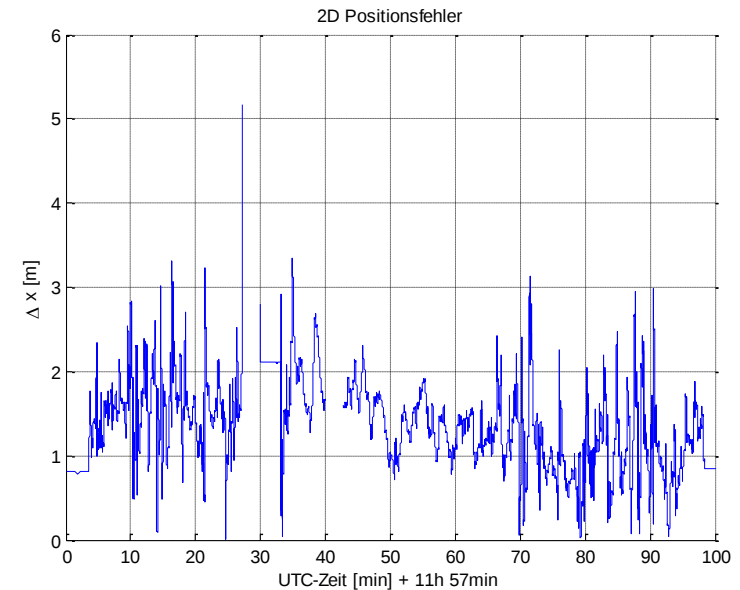


- Bias-Schätzung
  - Bias-Schätzung in Down-Richtung am besten möglich
  - Beschleunigungssensorbias entspricht systematischem Fehler
    - Lineares Ansteigen der Geschwindigkeitsfehler
    - Quadratisches Ansteigen der Positionsfehler
  - Vorteil einer korrekten Schätzung
    - Speziell bei low-cost Sensoren signifikant höhere Genauigkeit der geschätzten Parameter



- Integrierte Lösung - Positionsfehler
  - Systematische Fehler der GPS Einzelpunktbestimmung
  - Drift in Höhe vermutlich durch Änderung der Atmosphäre (Effekt trat nur in dieser Messung auf)

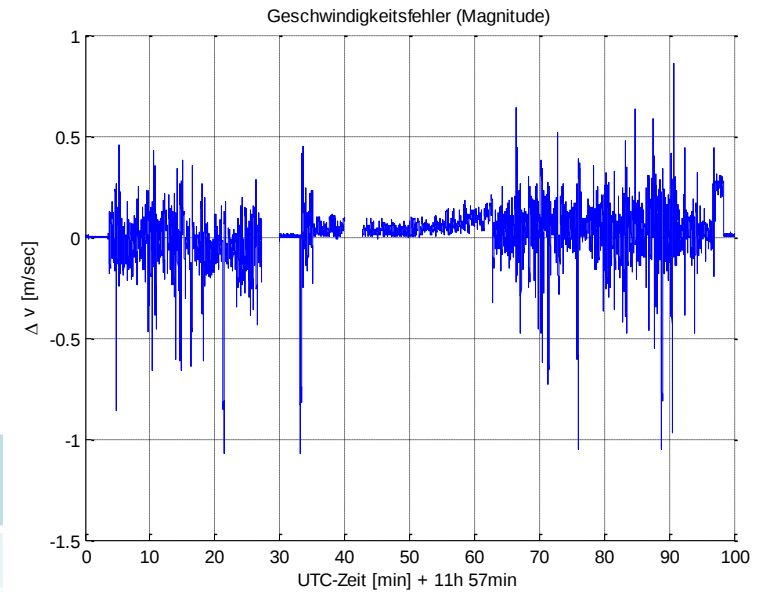
| Größe       | Lösung     | Standardabweichung [m] |
|-------------|------------|------------------------|
| 2D-Position | GNSS       | 1,383                  |
|             | Integriert | 1,451                  |
| Höhe        | GNSS       | 2,989                  |
|             | Integriert | 2,677                  |





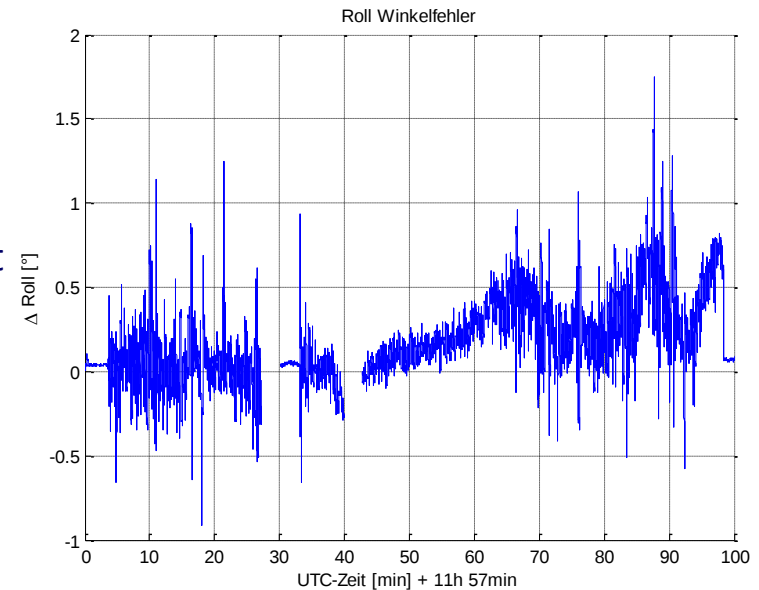
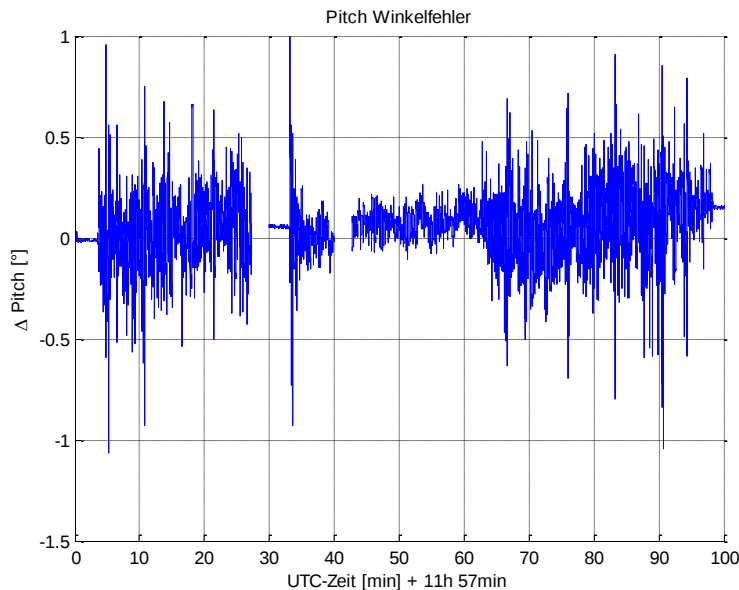
- Integrierte Lösung – Geschwindigkeitsfehler
  - Geschwindigkeit gegenüber GNSS-Lösung verbessert

| Größe           | Lösung     | Standardabweichung [m/sec] |
|-----------------|------------|----------------------------|
| Geschwindigkeit | GNSS       | 0,165                      |
|                 | Integriert | 0,127                      |



- Integrierte Lösung – Ausrichtungsfehler
  - Roll und Pitch deutlich besser als Heading
  - Limitierung der Heading-Genauigkeit durch Magnetometerunsicherheiten und Kreiseldrift

| Größe   | Standardabweichung [°] |
|---------|------------------------|
| Roll    | 0,293                  |
| Pitch   | 0,141                  |
| Heading | 2,366                  |



## ■ Zusammenfassung

- Lose gekoppeltes Kalman-Filter zur Integration von low-cost Sensoren
- Stützung des INS-Headings durch Magnetometermessungen
  - Berücksichtigung der Deviation und Deklination
- Barometrisch bestimmte Höhe durch Schätzung der Referenzwerte
- Verbesserung der Zuverlässigkeit gegenüber Lösung einzelner Sensoren
- Positionsgenauigkeit von 1-3 m
- Geschwindigkeitsgenauigkeit gegenüber GNSS-Lösung verbessert -> 0,13 m/sec
- Ausrichtung:
  - Roll und Pitch:  $0,1 - 0,3^\circ$
  - Heading:  $2,4^\circ$

## ■ Ausblick

- Test der Algorithmik mit RPAS-Daten
- Echtzeitbetrieb
- Dynamisches Modell mit Stellgrößen



Quelle: [www.ruhrnachrichten.de](http://www.ruhrnachrichten.de)



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

## Navigation von RPAS Ahorn 2014 Graz

Markus Dorn  
Institut für Navigation  
Nawi Graz, Technische Universität Graz  
[markus.dorn@tugraz.at](mailto:markus.dorn@tugraz.at)