

Sensor Fusion

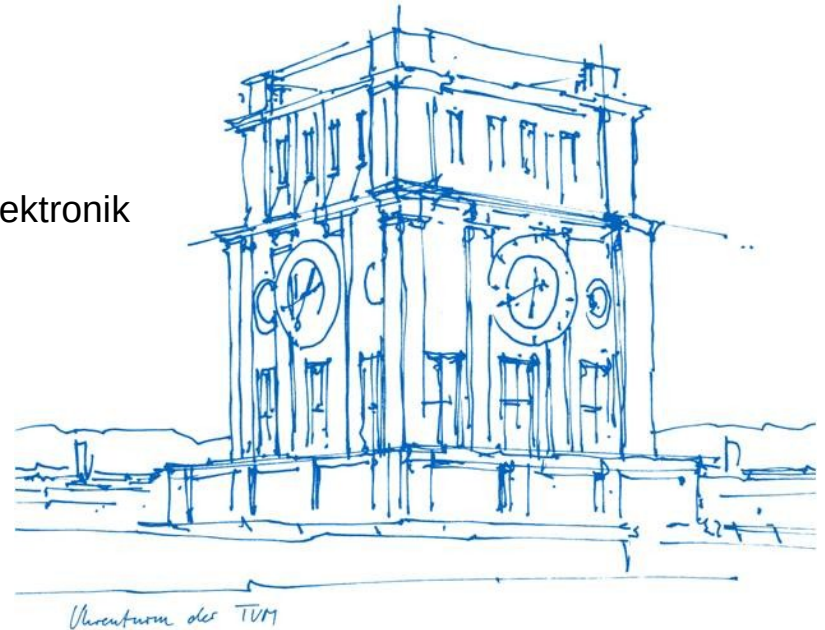
Martin Marmsoler

Technische Universität München

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme und Leistungselektronik

München, 24. April 2019

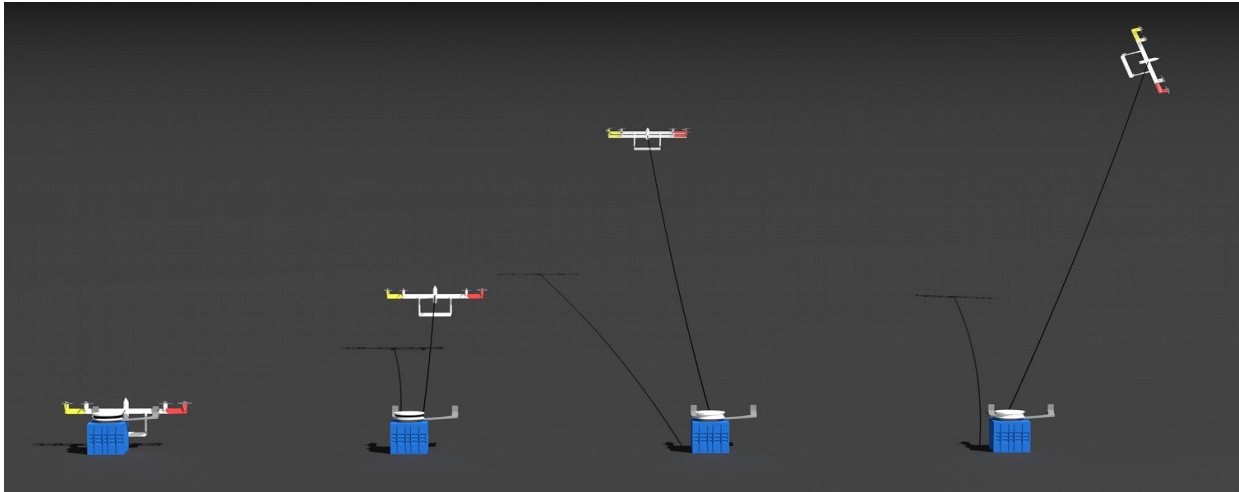


Motivation

- Airborne Wind Energy System (AWES)
- Umwandlung Windenergie in el. Energie

Makani Power AWES Test

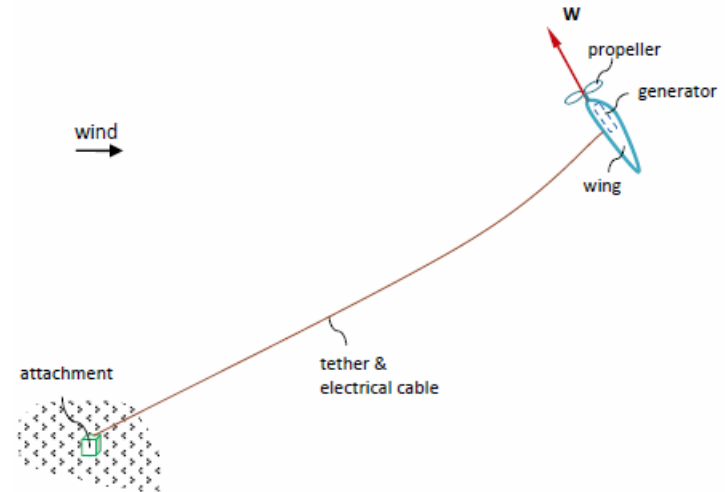
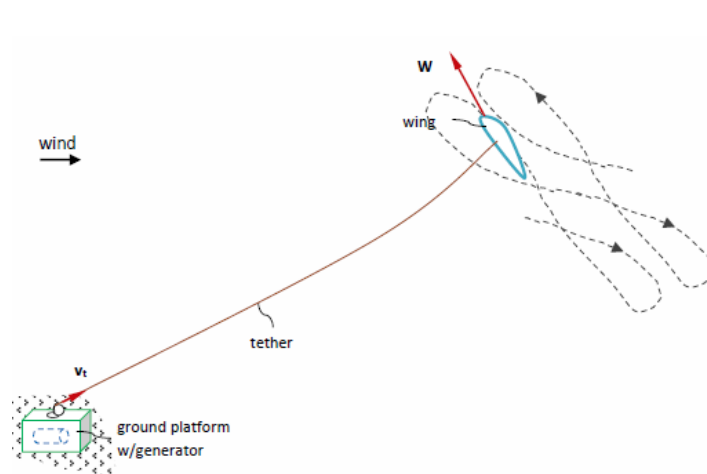
<https://www.youtube.com/watch?v=GSYMHzgLLn8>



Quelle: <http://kitekraft.de/>

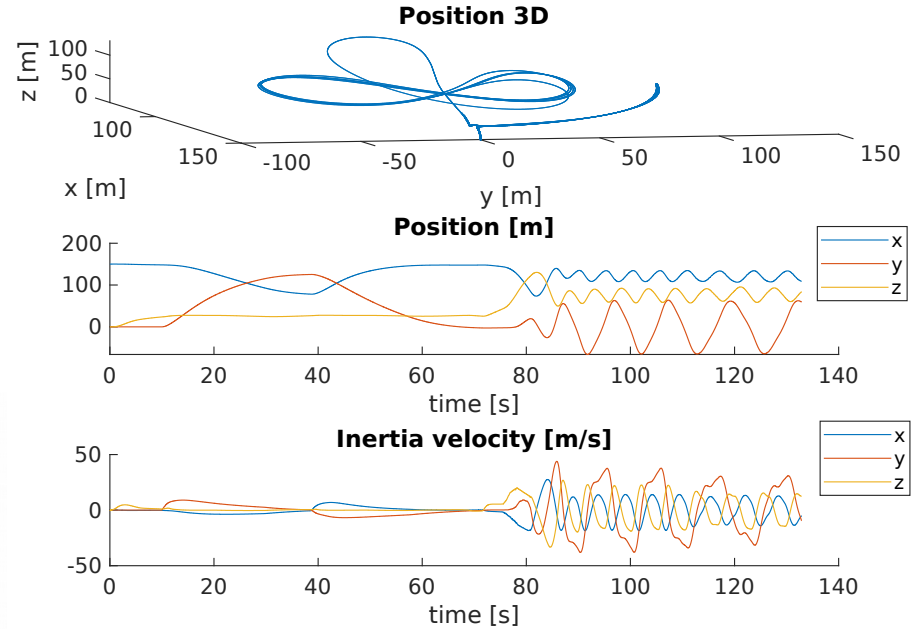
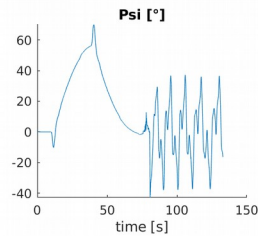
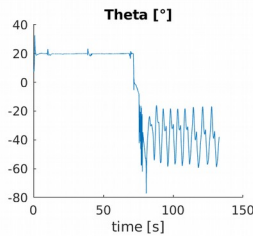
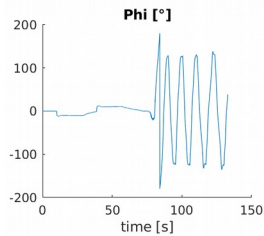
Motivation

- 2 verschiedene Arten zur Energiegewinnung
- Lage und Position bestimmen



Eingangsdaten

- Rauschen wird simuliert
 - Vorgegebene Varianzen
 - Bestimmt durch Messungen mit einer IMU



Darstellung der Lage durch Euler Winkel

- Vorteile:

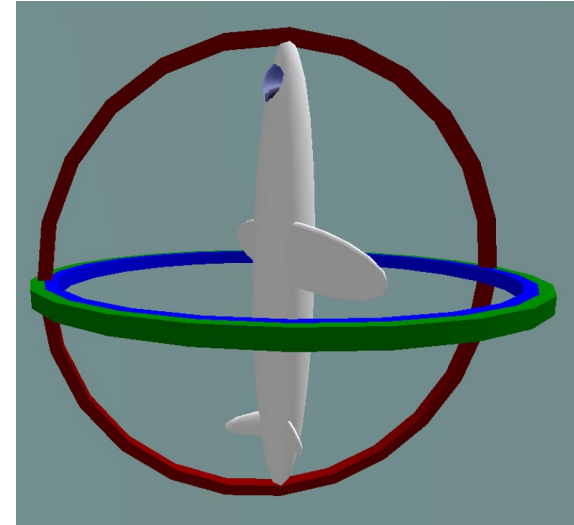
- Einfach
- Intuitiv

- Nachteil:

- Gimbal lock

- Durch geschicktes legen des Koordinatensystems kann man diesen Fall vermeiden

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\phi)\tan(\theta) \\ 0 & \cos(\theta) \\ 0 & \frac{\sin(\phi)}{\cos(\theta)} \end{bmatrix}$$



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Gimbal_lock.png

$$\begin{bmatrix} \cos(\phi)\tan(\theta) \\ -\sin(\theta) \\ \frac{\cos(\phi)}{\cos(\theta)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

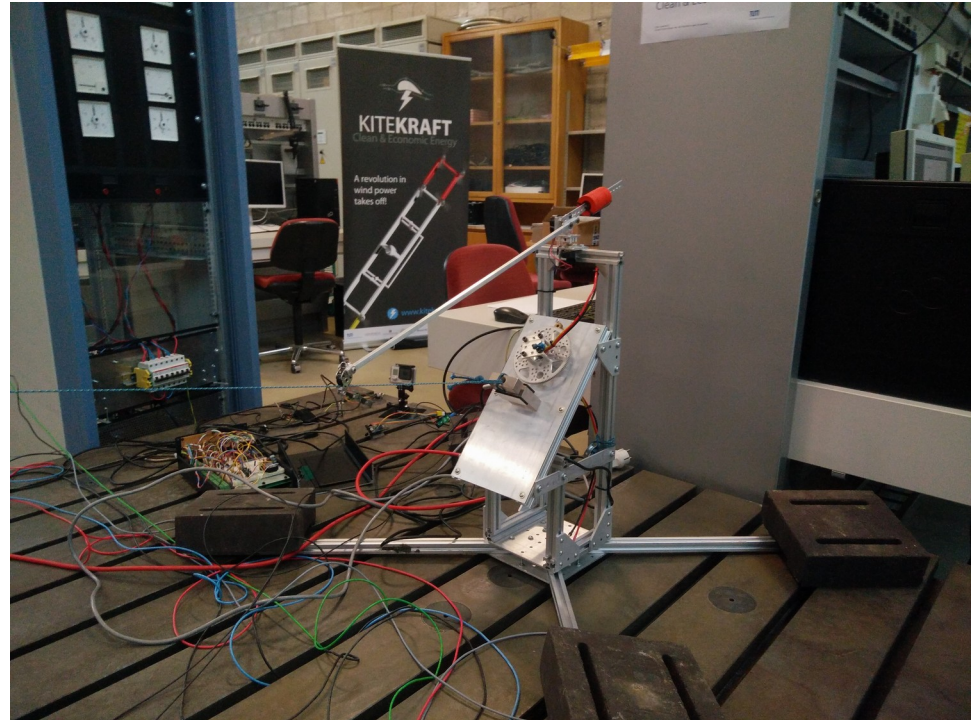
Unit Quaternions

- 4 dimensionale Darstellung einer Drehung $\underline{q} = \begin{bmatrix} q_s \\ \underline{q}_v \end{bmatrix}$
- Quaternionmultiplikation (stellt Drehung dar) $q \otimes p$
- Lösung des Problems des „Gimbal locks“

$$\underline{q}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \underline{\gamma} = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

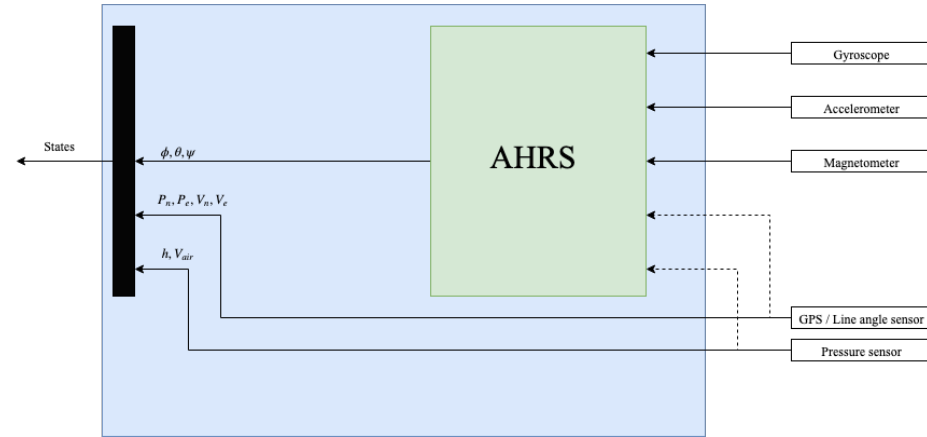
Sensoren

- IMU (Inertial measurement unit)
 - Beschleunigungssensor
 - Winkelgeschwindigkeitssensor
 - Magnetometer
- GPS
- Barometer
- Seilwinkel Messeinheit

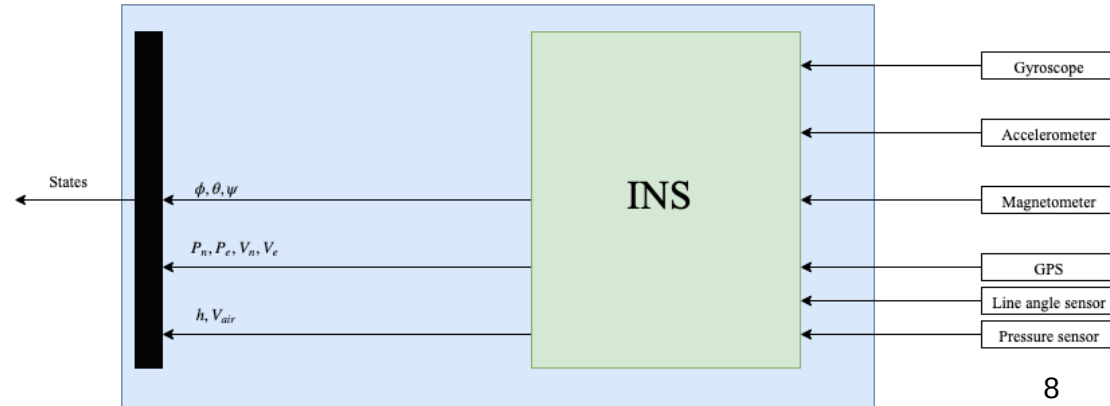


AHRS vs. INS

Attitude Heading Reference System



Inertial Navigation System



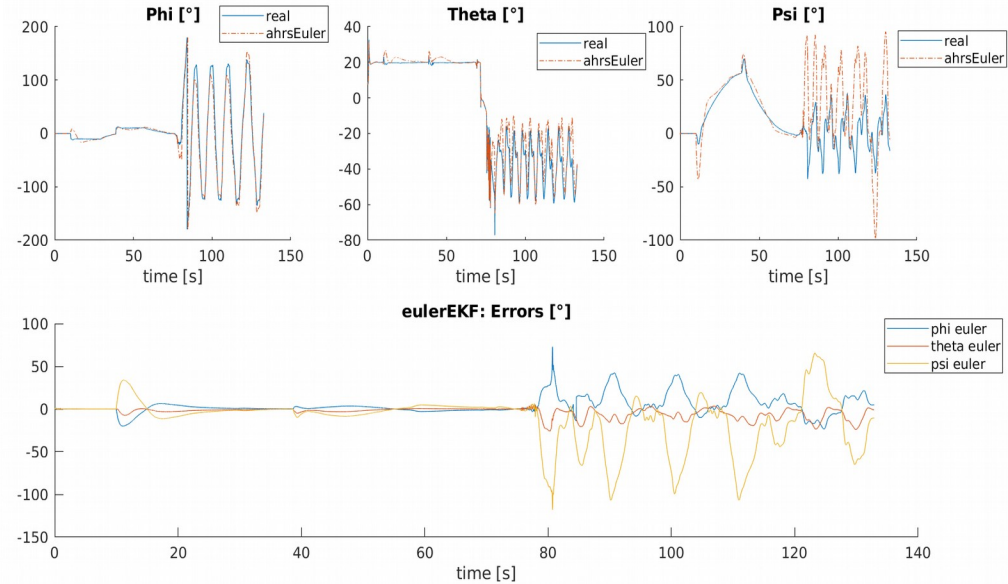
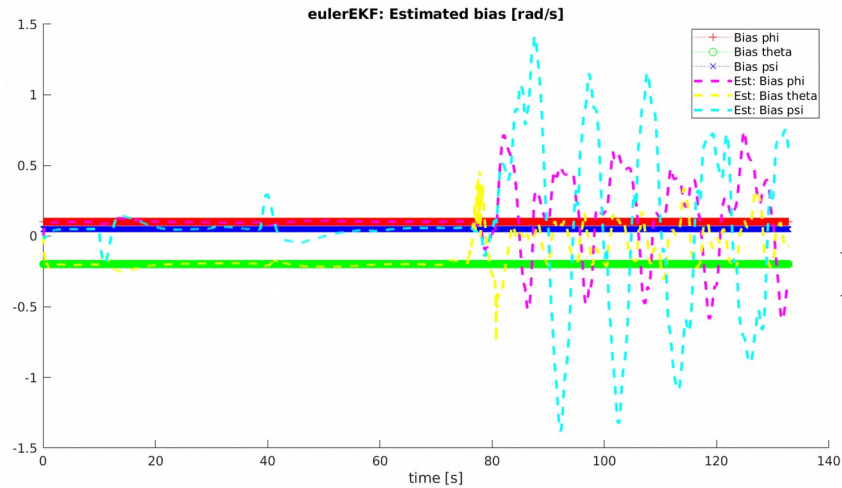
AHRS Filter

- Zustände Eingänge und Ausgänge Beschreiben
- Gyroskop beeinflusst direkt die Zustandsgleichung

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Zustände:} & x = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \\ b_{\omega_x} \\ b_{\omega_y} \\ b_{\omega_z} \end{bmatrix} & u = \begin{bmatrix} \omega \\ v_{GPS} \end{bmatrix} & \text{Messungen:} & y = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \\ mag_x \\ mag_y \\ mag_z \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Euler EKF AHRS

- Kein Gimbal lock tritt auf



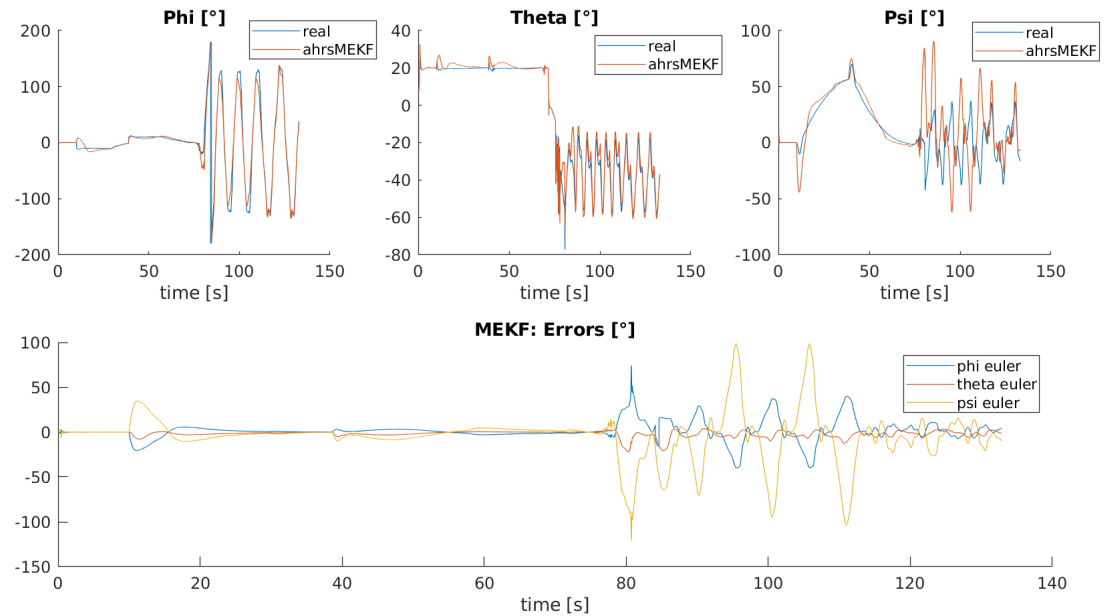
Quaternion EKF AHRS

- 6 Zustände \rightarrow 7 Zustände
- Vorteil:
 - Kein Gimbal lock
 - Effizienter, da keine trigonometrischen Funktionen berechnet werden müssen

MEKF AHRS

- Gleiche Performance wie vorherige Filter
- Beim Quaternion EKF AHRS ist der $\text{Rang}(Q)=3$, die Matrix ist aber 4x4
- Fehler der Lage als Zustand $\underline{q} = \hat{\underline{q}} \otimes \delta \underline{q}(\underline{\alpha})$
- Annahme: Abweichung zwischen Schätzwert und Ist-Wert sehr gering $\rightarrow \delta \underline{q}(\underline{\alpha}) \approx \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
- Reset von α nach dem „correction step“ des Kalman Filters
- Vorteil:
 - $\text{Rang}(Q) = 3 \rightarrow$ keine Singularitäten
 - Drei Zustände für die Lage

AHRS MEKF

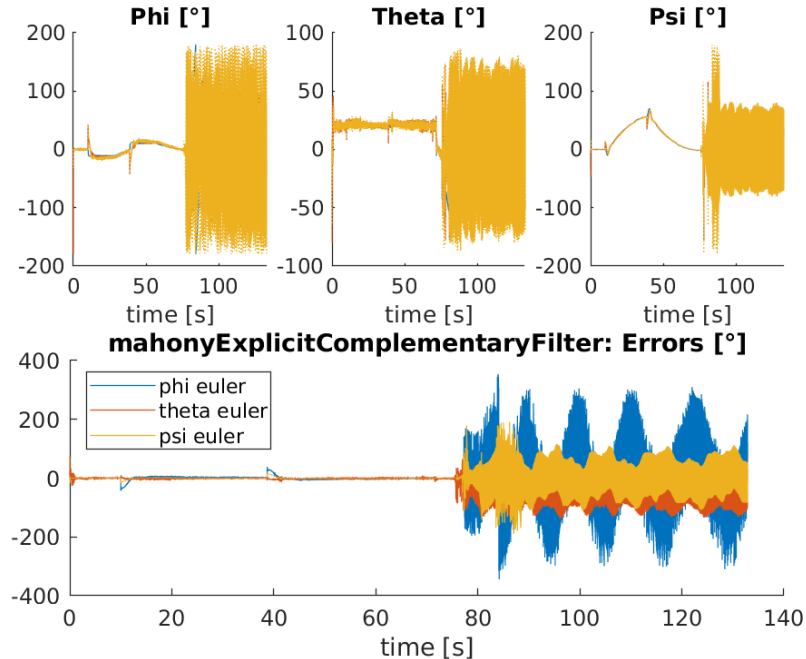


Mahony Explicit Complementary filter

- Vorteil:
 - Global asymptotisch stabil, da keine linearisierung durchgeführt wird (wenn keine translatorische Beschleunigung vorhanden ist)
 - Parameter zum parametrisieren und optimieren
 - Nur sehr wenige Rechenschritte
- Nachteil:
 - Nur ein AHRS Filter
- Erweitert durch die Kompensation der Zentriptalbeschleunigung

Mahony Explicit Complementary filter

- Filter unbrauchbar bei hohen translatorischen Beschleunigungen

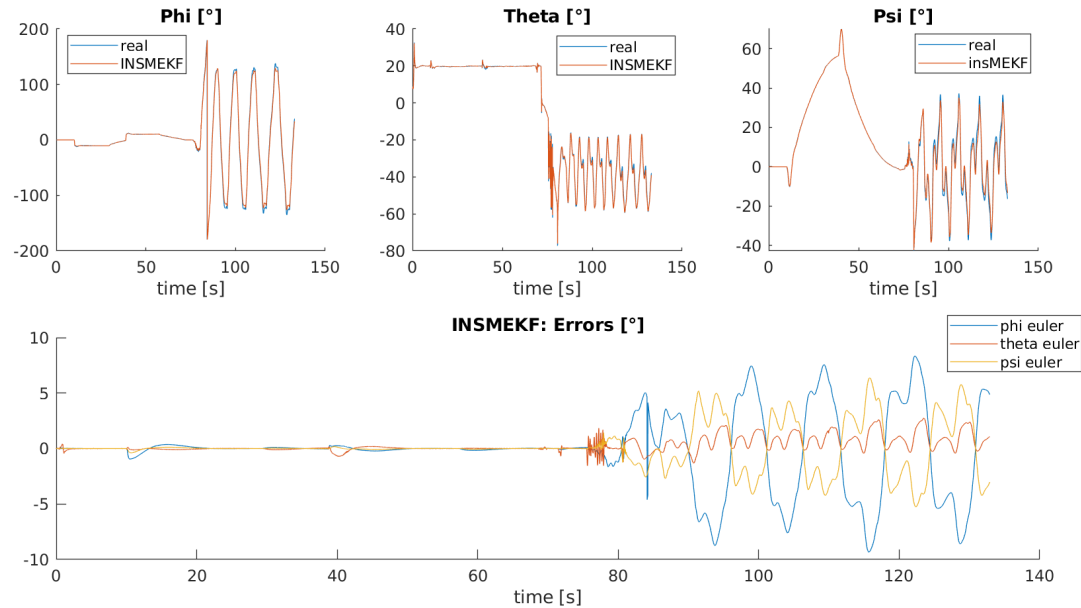


INS Filter

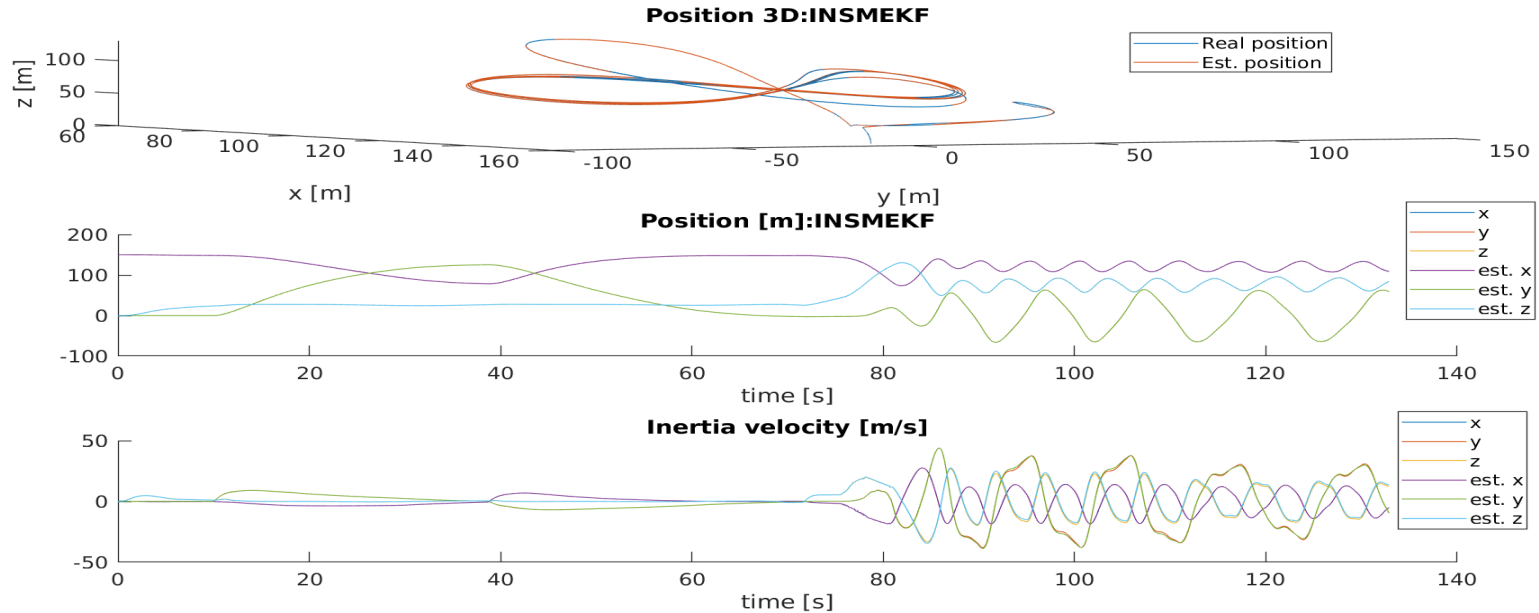
- Vorteil gegenüber AHRS Filter:
 - Translatorische Beschleunigung wird im Filter beachtet

$$x_{MEKF} = \begin{bmatrix} \alpha \\ p \\ v \\ b_\omega \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} \omega \\ a \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} mag \\ baro \\ p_{GPS} \\ v_{GPS} \\ p_{lineangle} \end{bmatrix}$$

INS MEKF



INS MEKF

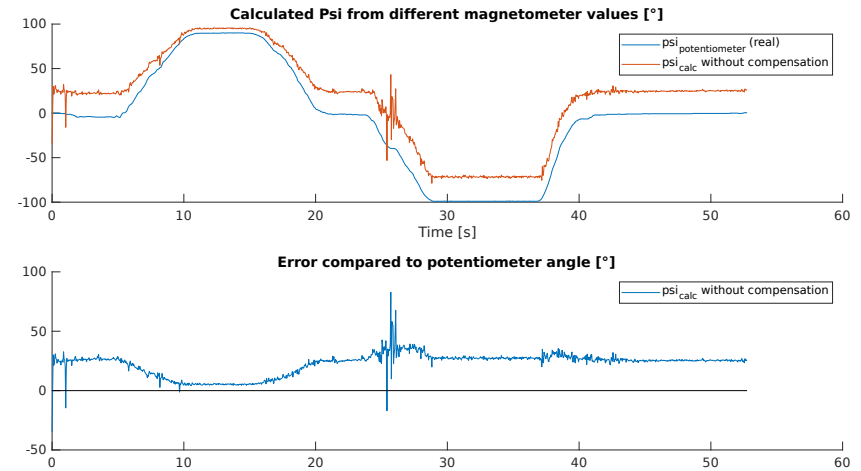


Weiteres Vorgehen

- Tether Annahme einer Geraden durch ein Modell ersetzen mit diskreten Massepunkten um Durchhang mit in die Positionsbestimmung mit einzubeziehen
- Zusätzliche Sensoren erforderlich um ein dynamisches Modell zu erstellen
 - Anemometer
 - Windrichtungsgeber

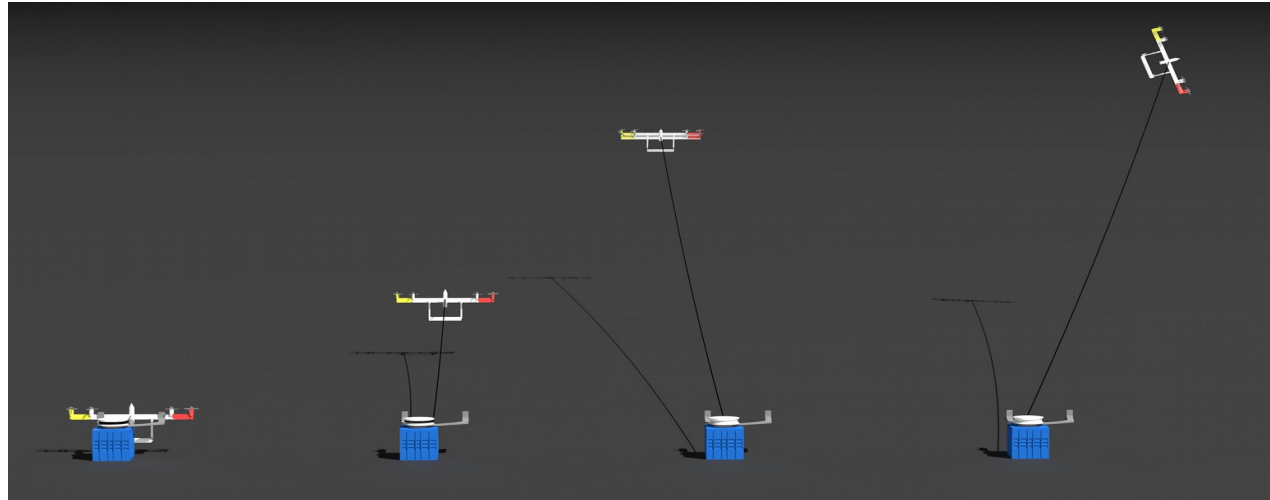
Weiteres Vorgehen

- Magnetometer kalibrieren



Weiteres Vorgehen

- C- Code Generierung
- Online testen



Quelle: <http://kitekraft.de/>

Quellen

- F. Landis Markley - Attitude Error Representations for Kalman Filtering
- E.J. Lefferts - Kalman filtering for spacecraft attitude estimation
- Jeffrey D. Barton - Fundamentals of Small Unmanned Aircraft Flight
- J. Diebel - Representing Attitude: Euler Angles, Unit Quaternions, and Rotation Vectors