

# Sensor Fusion

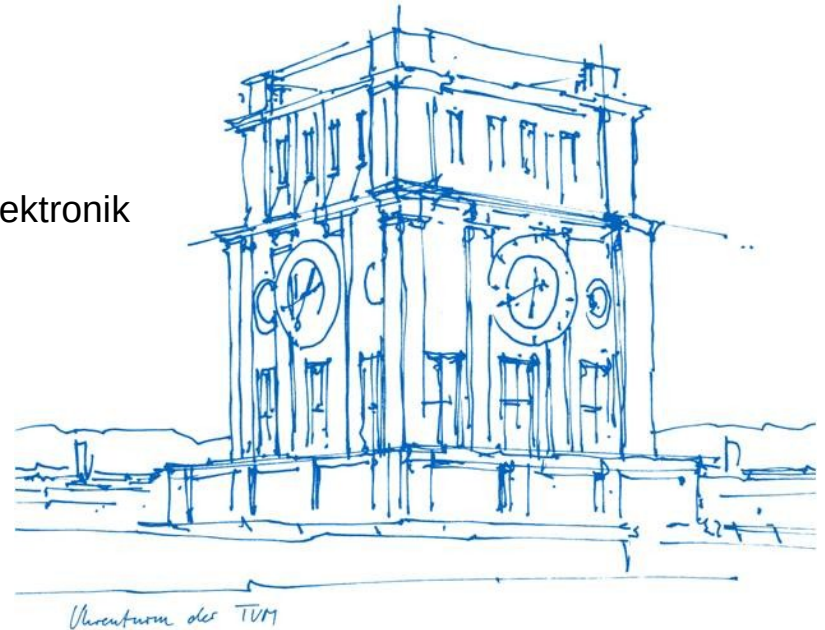
Martin Marmsoler

Technische Universität München

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

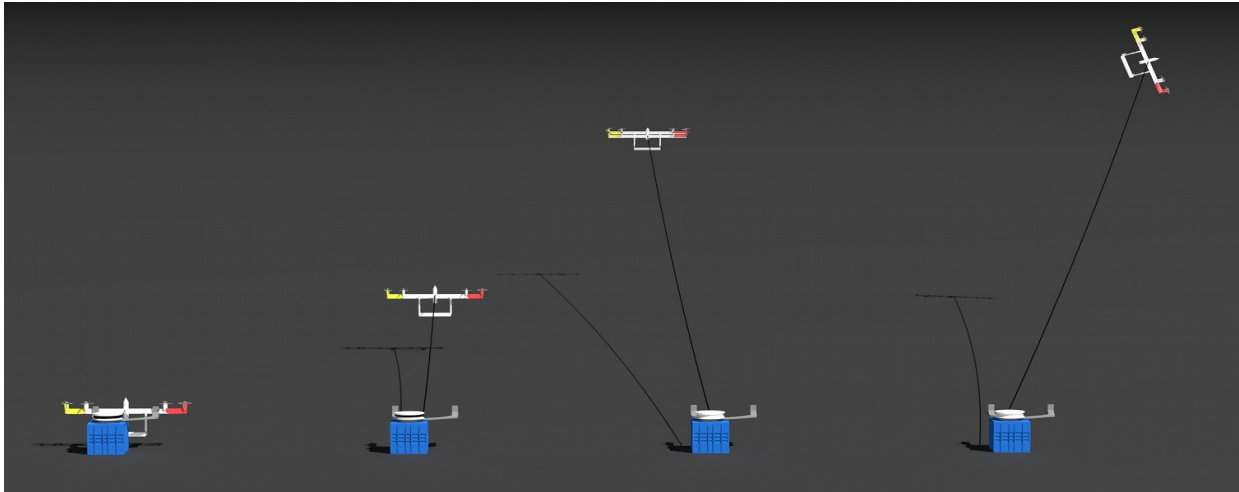
Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme und Leistungselektronik

München, 26. Juni 2019



# Motivation

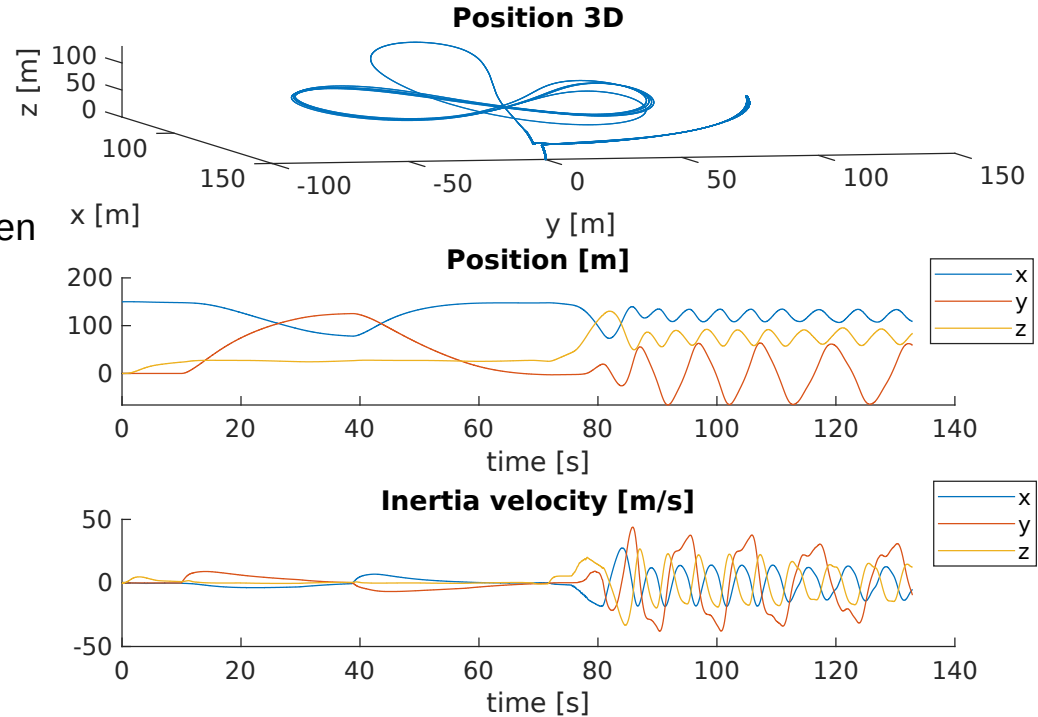
- Airborne Wind Energy System (AWES)
- Umwandlung Windenergie in el. Energie



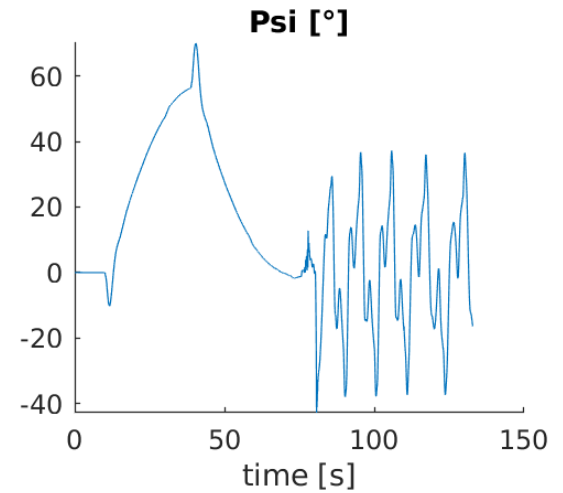
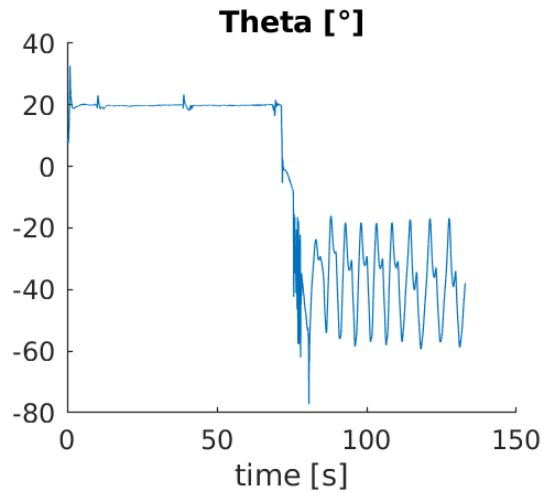
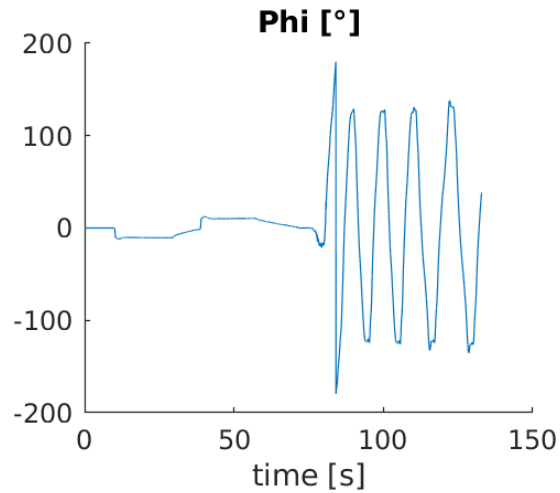
Quelle: <http://kitekraft.de/>

# Eingangsdaten

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

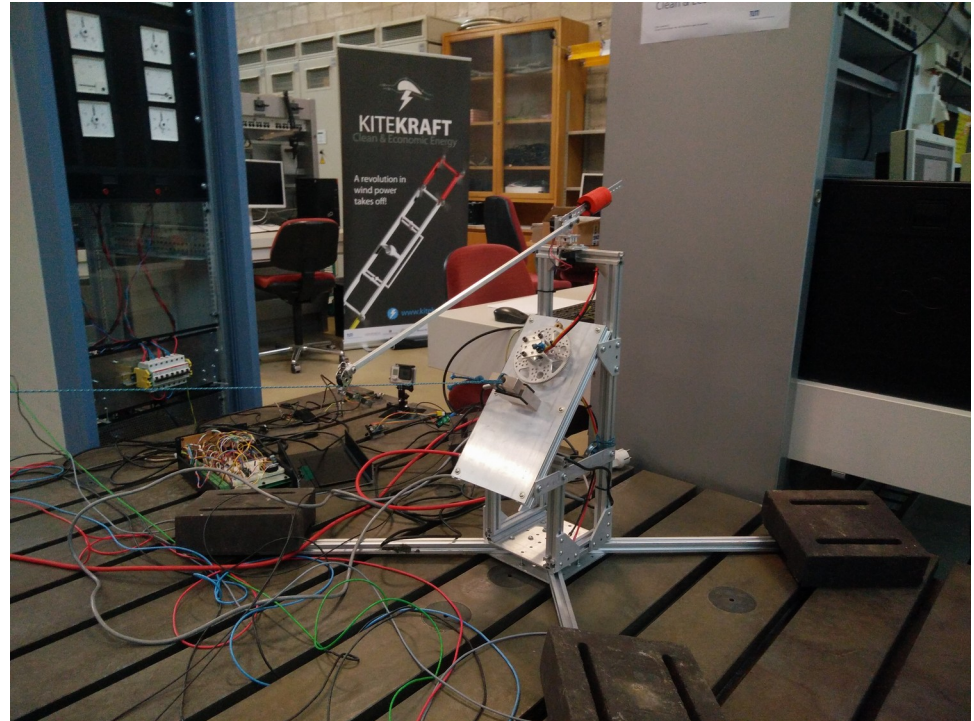


# Eingangsdaten



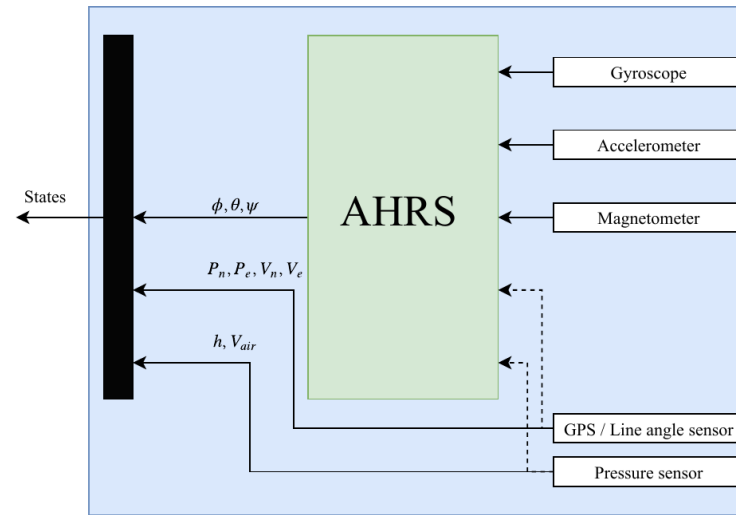
# Sensoren

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

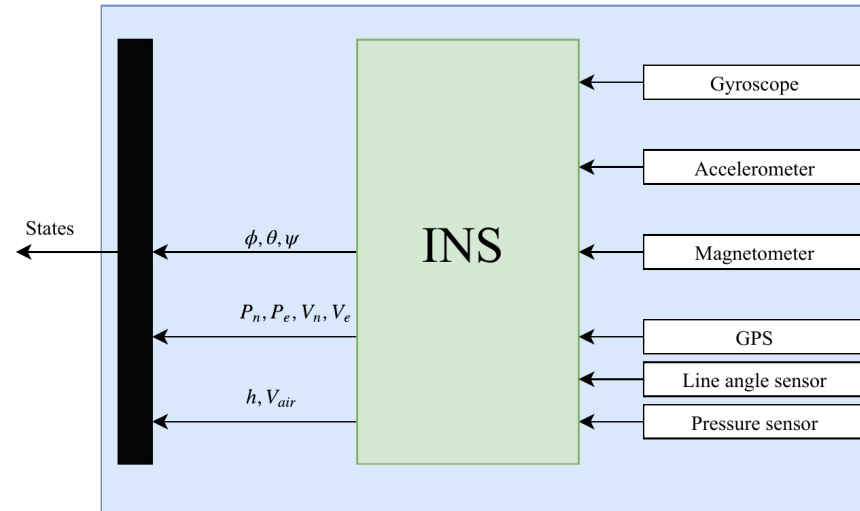


# AHRS vs. INS

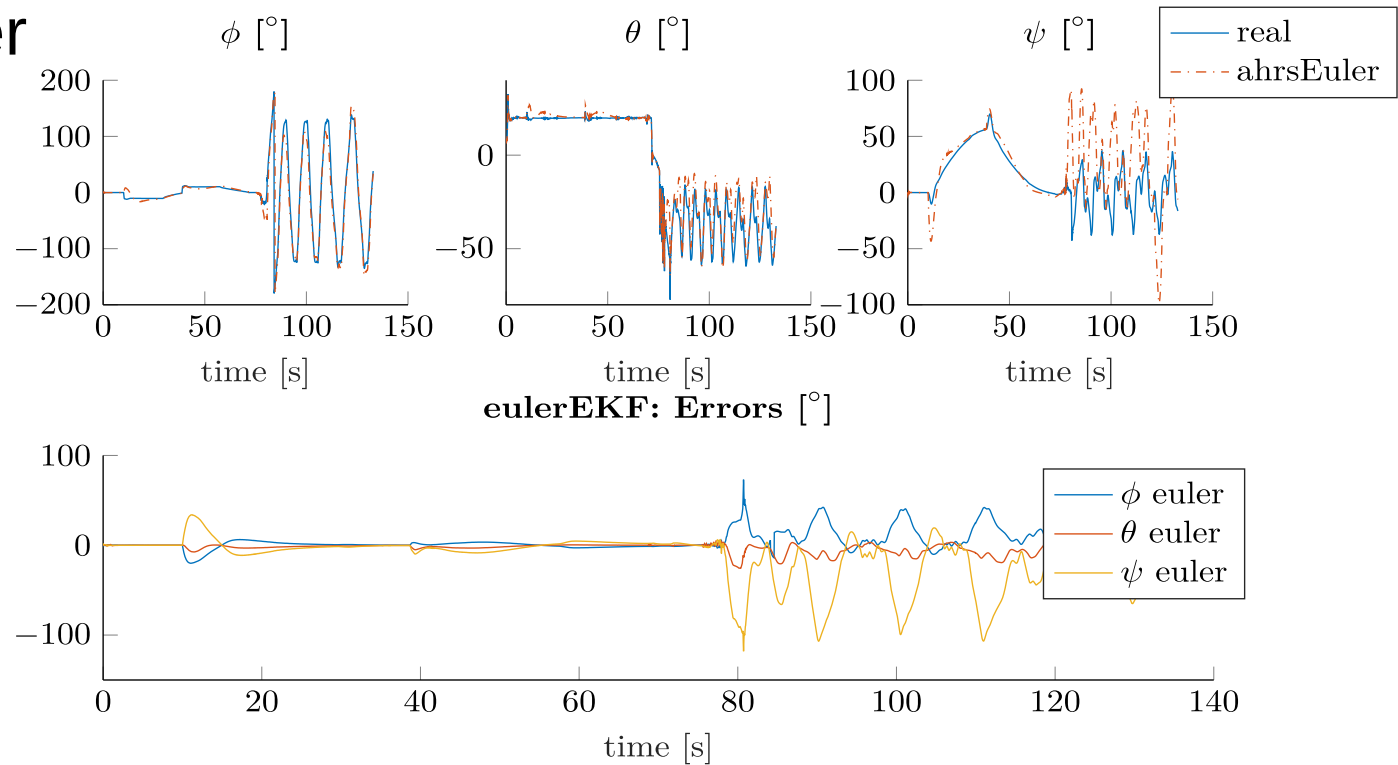
**A**ttitude **H**eading **R**eference **S**ystem



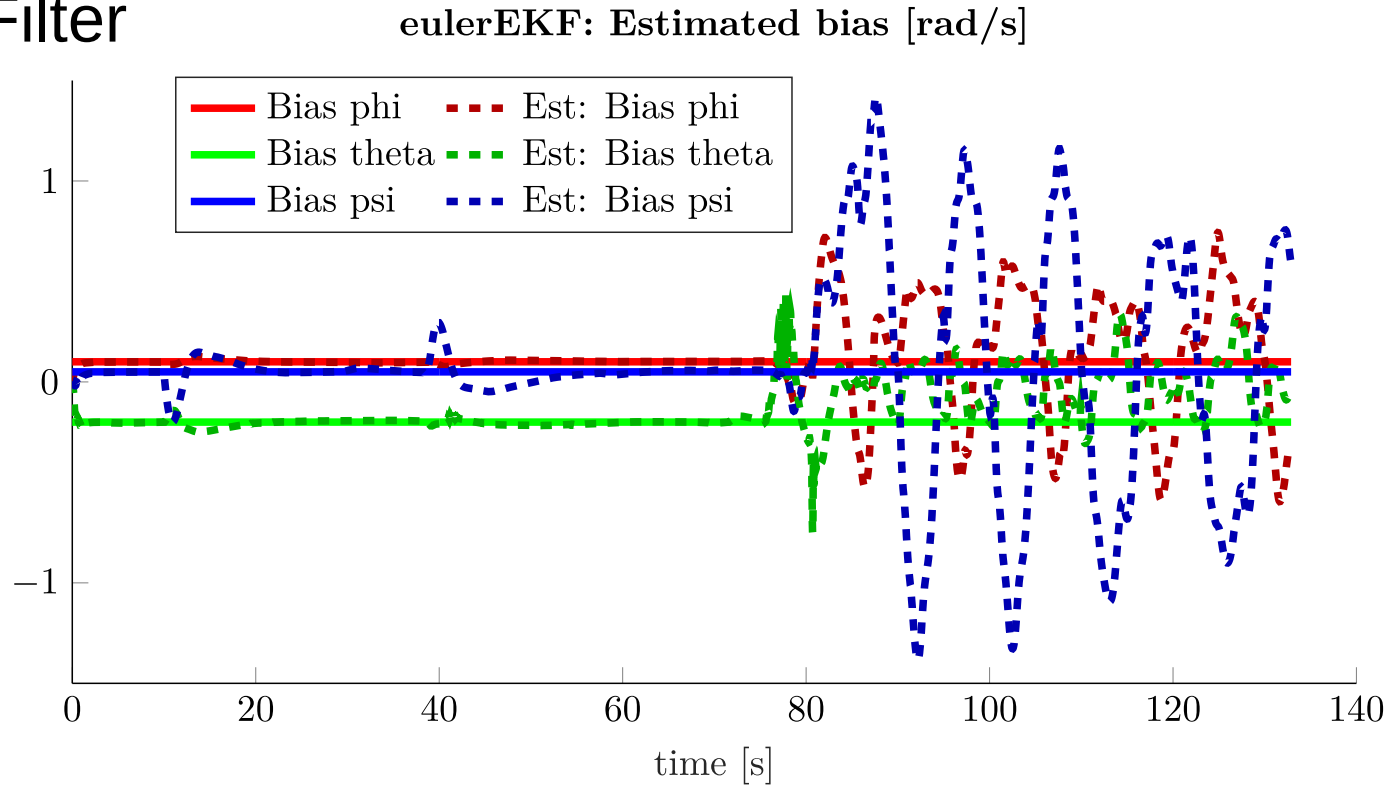
**I**nertial **N**avigation **S**ystem



# AHRS Filter

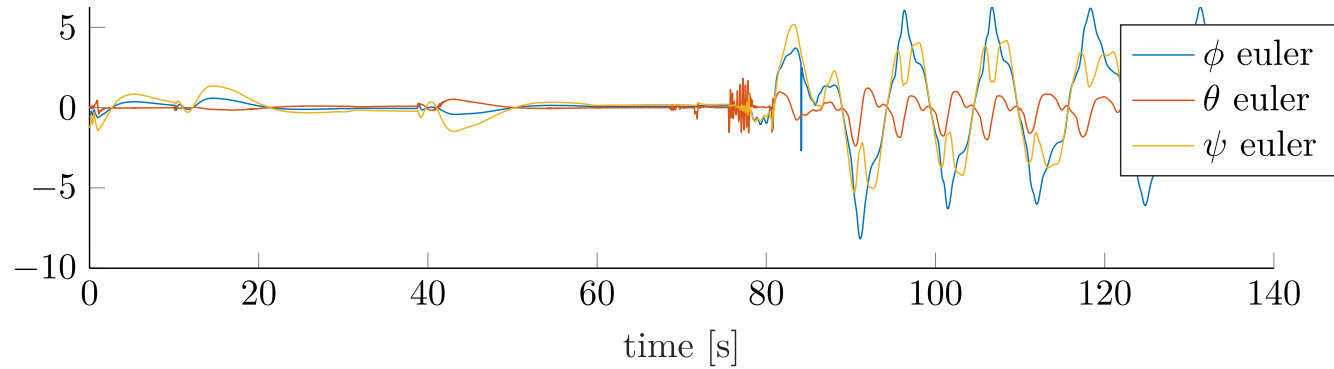
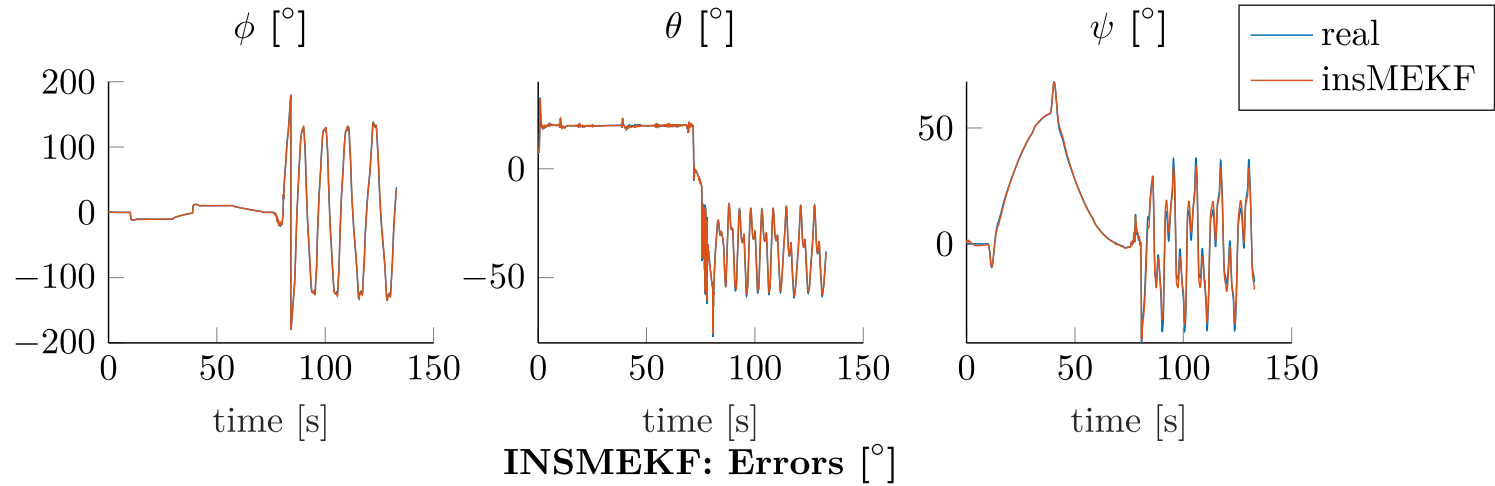


# AHRS Filter



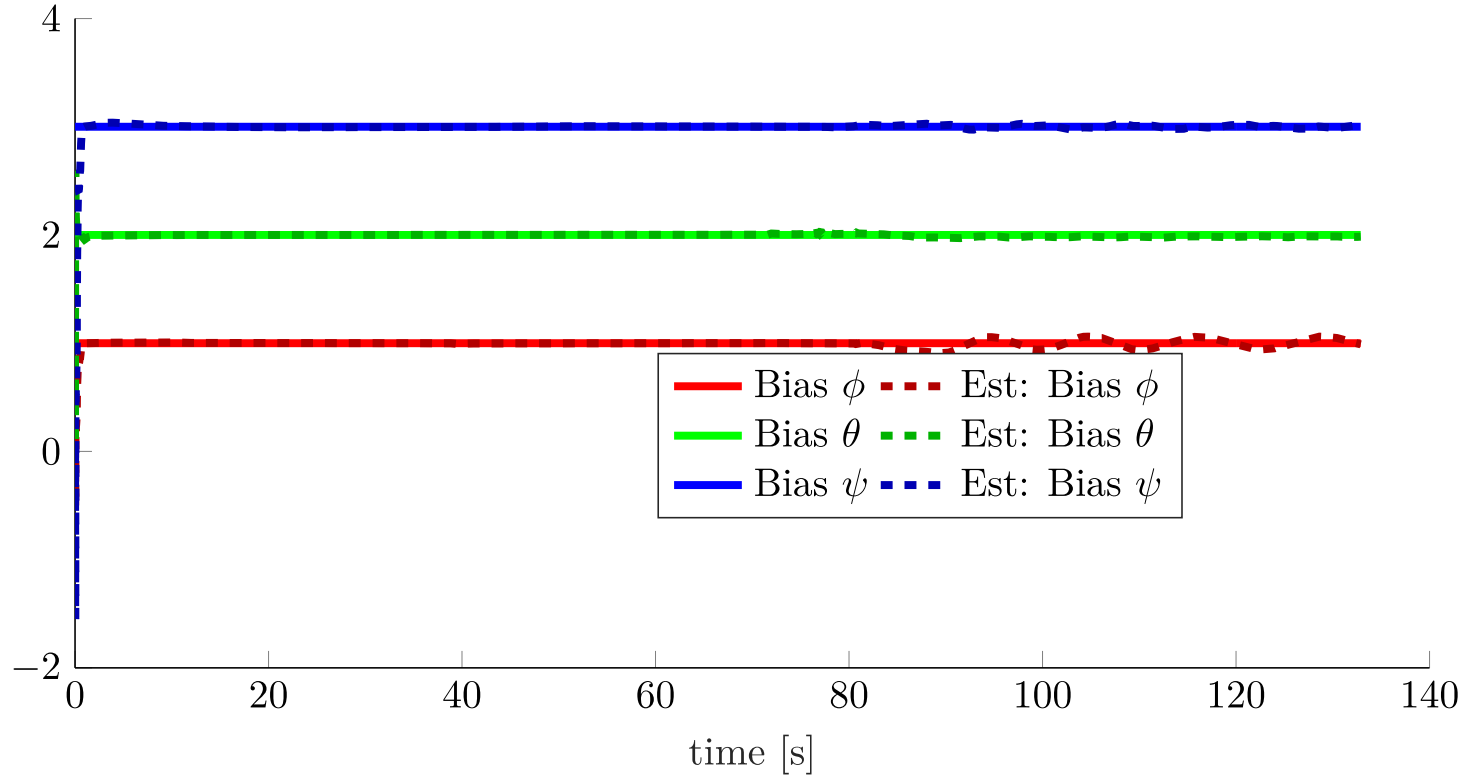


# INS Filter



## INS Filter

INSMEKF: Estimated bias [rad/s]



# RMSD (Root-Mean-Square-Deviation)

- Maß zum Vergleich verschiedener Filter

$$rmsd(y) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - y_t)^2}{T}}$$

## Zusätzliche Limitierungen: Sample Rate

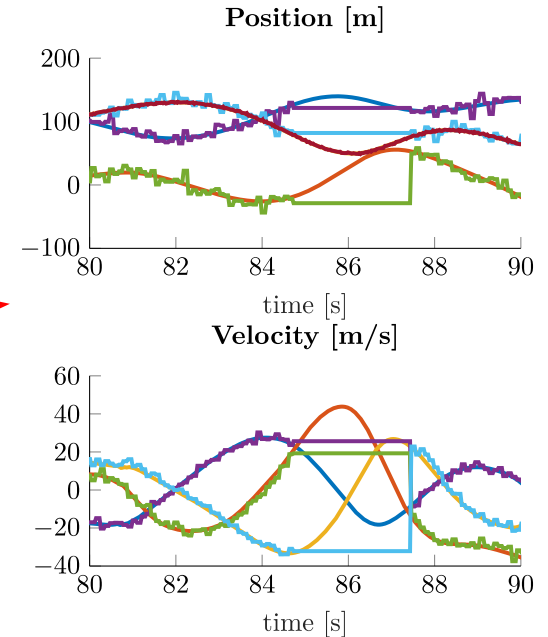
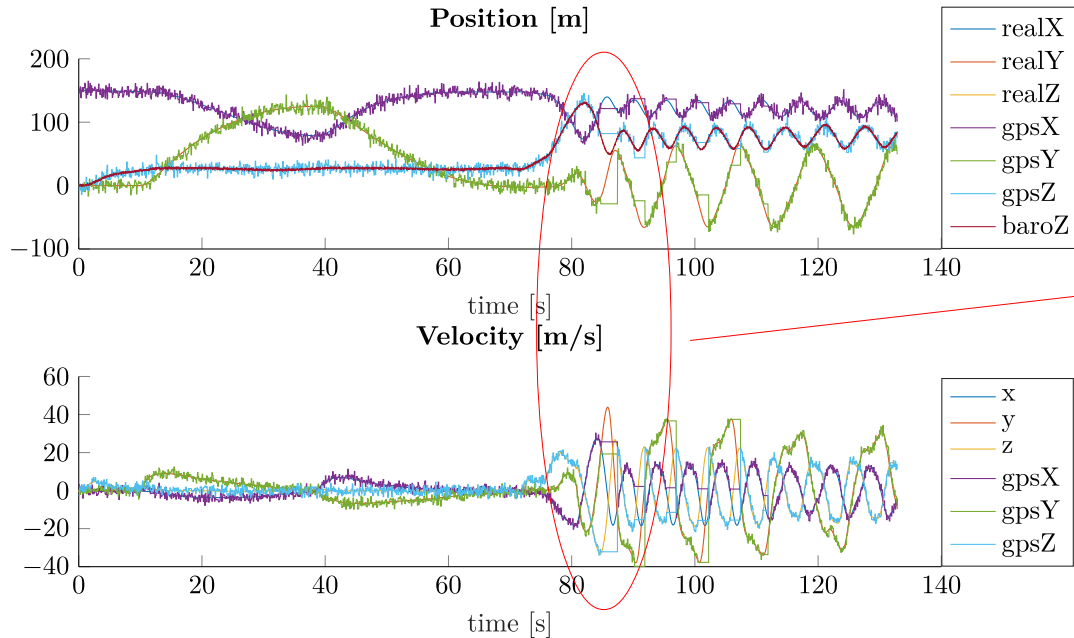
Sensor / Filter	Sample Rate [Hz]
Filter	100
Gyroskop	100
Beschleunigungssensor	100
Magnetometer	100
GPS	10
Barometer	100
Seilwinkel Sensor	100

## Zusätzliche Limitierungen: Sample Rate

Filter	Winkel [°]			Position [m]		
	rmsd( $\Phi$ )	rmsd( $\Theta$ )	rmsd( $\Psi$ )	rmsd(x)	rmsd(y)	rmsd(z)
INS MEKF ohne interpolation	2.92	1.29	6.25	1.51	1.50	0.23
INS MEKF ignoriert Filterschritt wenn kein neuer Wert vorhanden ist	2.71	0.91	5.62	0.77	0.75	0.22
INS MEKF interpoliert Position wenn Sensor nicht verfügbar	2.70	0.68	4.29	1.82	1.39	0.34

# Zusätzliche Limitierungen: GPS Modul

- Maximale Beschleunigung: 4g



## Zusätzliche Limitierungen: GPS Modul

Filter	Winkel [°]			Position [m]		
	rmsd( $\Phi$ )	rmsd( $\Theta$ )	rmsd( $\Psi$ )	rmsd(x)	rmsd(y)	rmsd(z)
INS MEKF ohne interpolation	8.81	3.23	12.84	3.18	5.48	0.29
INS MEKF ignoriert Filterschritt wenn kein neuer Wert vorhanden ist	2.43	0.65	4.33	0.84	0.86	0.23
INS MEKF interpoliert Position wenn Sensor nicht verfügbar	3.60	1.10	4.80	4.32	3.16	0.49

## Zusätzliche Limitierungen: GPS Modul

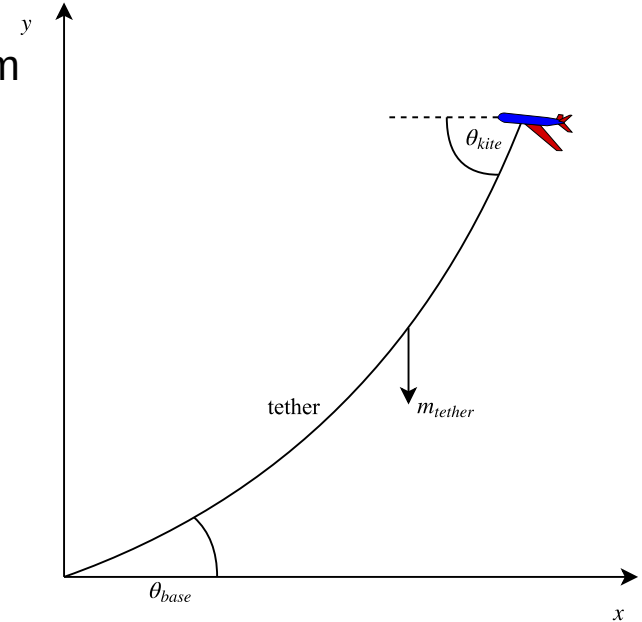
- Durch Ignorieren des Korrekturschrittes für das GPS im Kalman Filter kann die Schätzung verbessert werden, da in diesem Zeitraum die Position nur durch den Seilwinkelsensor geschätzt wird



## Zusätzliche Limitierung: Seildurchhang

- Verursacht durch die Masse des Seils
- Annahme: 155m Seil bei einer direkten Distanz von 150m
- Catenary Kurve
- Parameter der Kurve durch Anfangsbedingungen und Seilwinkel bestimmt.

$$y = C2 + a \cosh \left( \frac{1}{a}x + C1 \right)$$

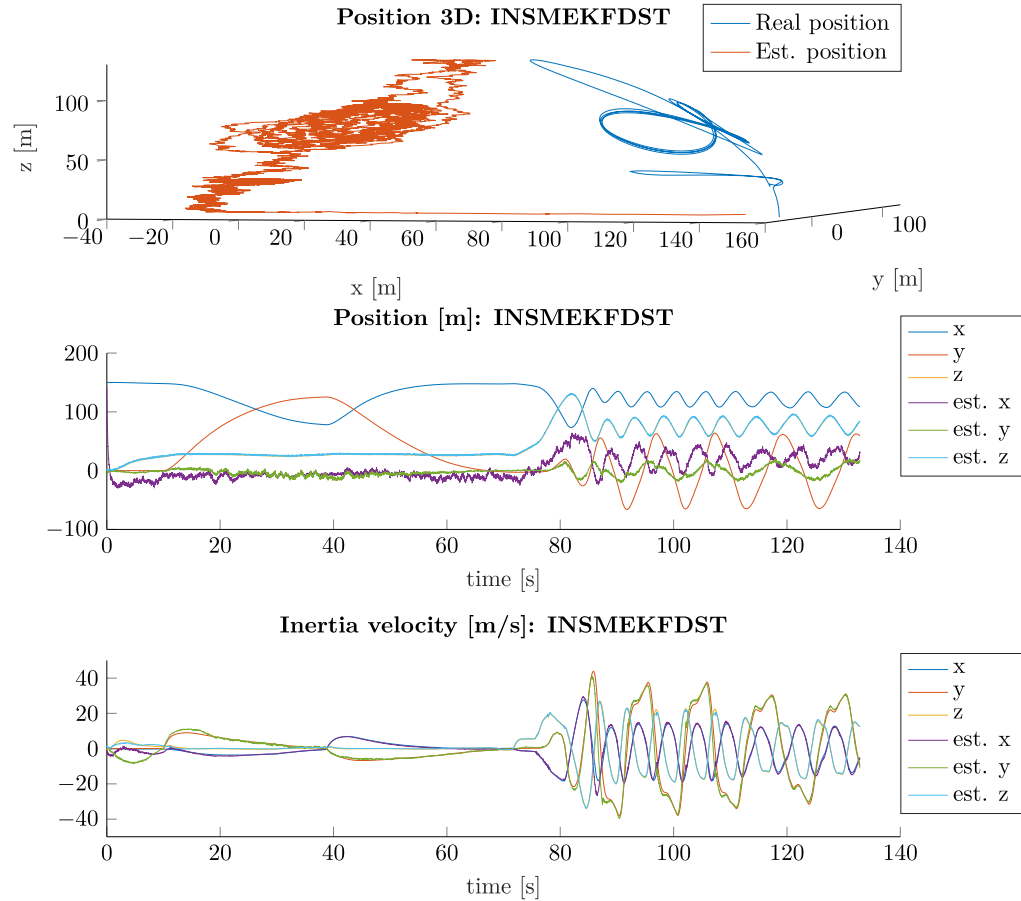


## Zusätzliche Limitierung: Seildurchhang

- Z-Position nur geringfügig Beeinflusst, da Barometer niedrigere Varianz hat

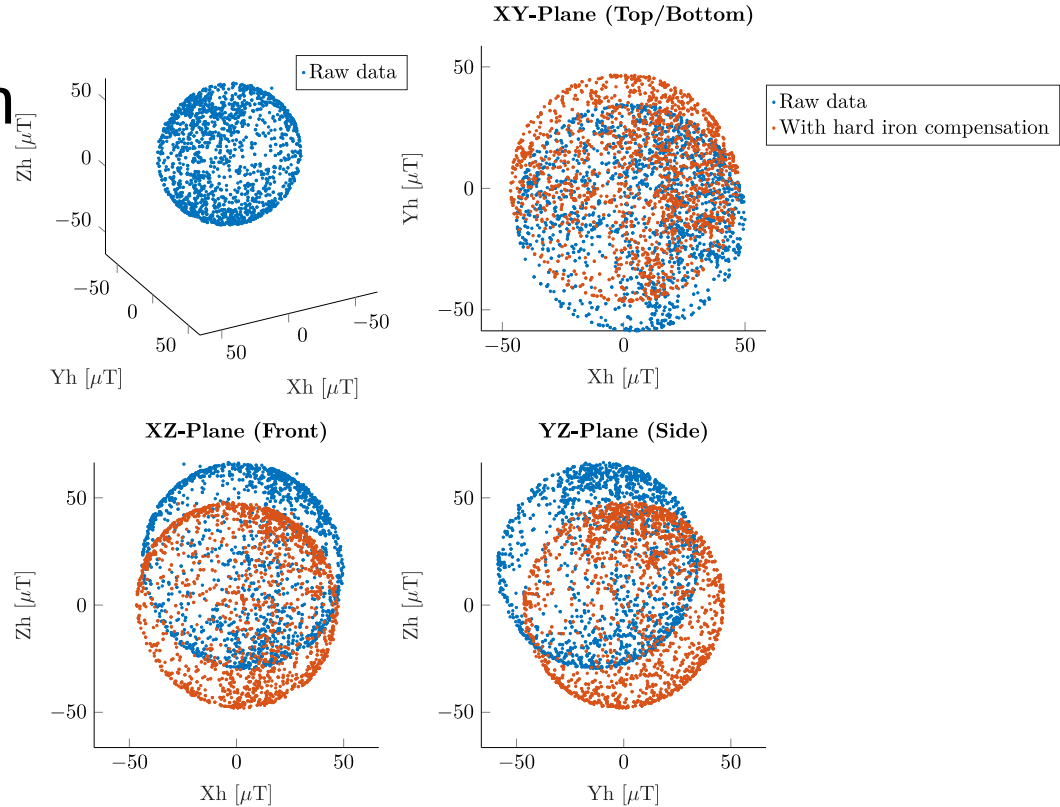
Filter	Winkel [°]			Position [m]		
	rmsd( $\Phi$ )	rmsd( $\Theta$ )	rmsd( $\Psi$ )	rmsd(x)	rmsd(y)	rmsd(z)
INS MEKF ohne Kompensation	5.32	3.41	14.21	124.30	60.45	0.88
INS MEKF mit Kompensation	3.10	1.14	6.54	1.52	1.19	1.94

# Zusätzliche Limitierung: Seildurchhang



# Magnetometer Calibration

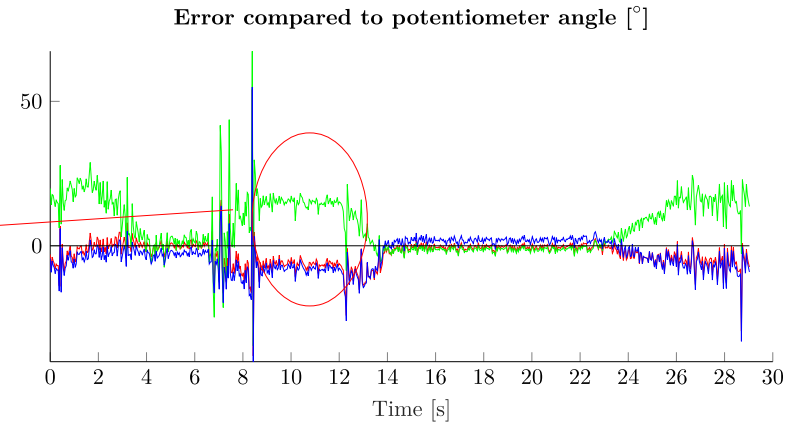
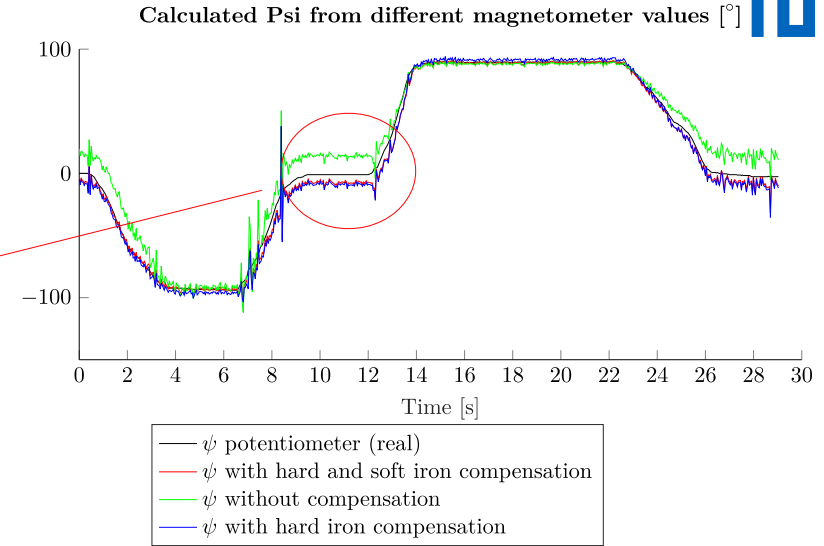
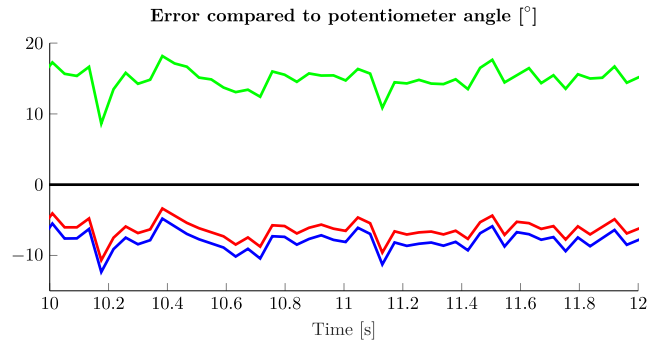
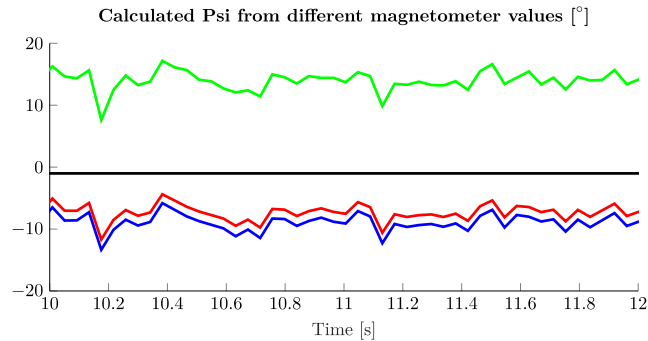
$$m_{b_{meas}} = W_{SI}(m_b - m_{HI})$$



# Magnetometer Calibration



# Magnetometer Calibration



# Magnetometer Calibration

Kompensation	RMSD [°]
Ohne	11.47
Hard-iron	6.65
Hard- & Soft-iron	5.70

# Quellen

- F. Landis Markley - Attitude Error Representations for Kalman Filtering
- U-blox - NEO-6
- N. Hall - Control Line Equations
- T. Ozyagcilar - Calibrating an eCompass in the Presence of Hard- and Soft-Iron Interference
- G. Griffiths - Least squares ellipsoid specific fitting