


# Anwendung Drohnen-basierter Luftbilder – Mosaikierung, Entzerrung und Daten-Auswertung



## Das Carolo-System Eine selbstständig fliegende Drohne

Thomas Krüger  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme (ILR)  
Hermann-Blenk-Straße 23  
38108 Braunschweig



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtsysteme 



THÜRINGENFORST



# Unbemannte Flugsysteme am ILR



## Schwerpunkte am ILR seit 2001:

- Miniatur-Autopiloten
- Sensorik (MEMS-Sensoren)
- Flugregelung
- integrierte Navigation
- Flugsimulation

## Aktuelle Forschung:

- *Sense & Avoid*
- fluggestützte Meteorologie
- künstliche Intelligenz
- verbesserte GPS/INS Datenfusion
- Nutzlasten (Thermalkamera)



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Das unbemannte Fluggerät



## Fluggerät:

- Startgewicht – 6 kg
- Nutzlast – 0,8 kg
- Spannweite – 200 cm
- Reisegeschwindigkeit – ca. 20 m/s
- Flugzeit – ca. 60 min
- Steigleistung – 2500 m



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Das Autopilotensystem

## Integrierte Navigation:

- Drehraten und Beschleunigungen
- GPS-Rohdaten
- Datenfusion über Kalmanfilter
- ➔ präzise Lage- und Positiondaten



40mm x 80 mm – 45 g inkl. GPS

## Flugregelung:

- Flugbahnführung über Spline-Kurven
- automatischer Missionsablauf



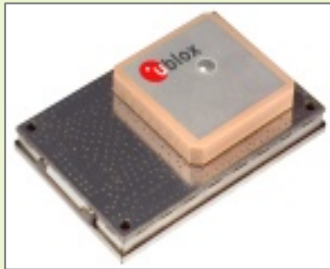
Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Navigationfilter - Sensorik



## GPS

- liefert Position und Geschwindigkeit
- Frequenz: 1Hz
- langzeitgenau



## MEMS-IMU

- liefert komplette Navigationslösung
- Frequenz: 100Hz
- kurzzeitgenau

**Integration: vereint die Vorteile der Systeme**



Technische Universität Braunschweig

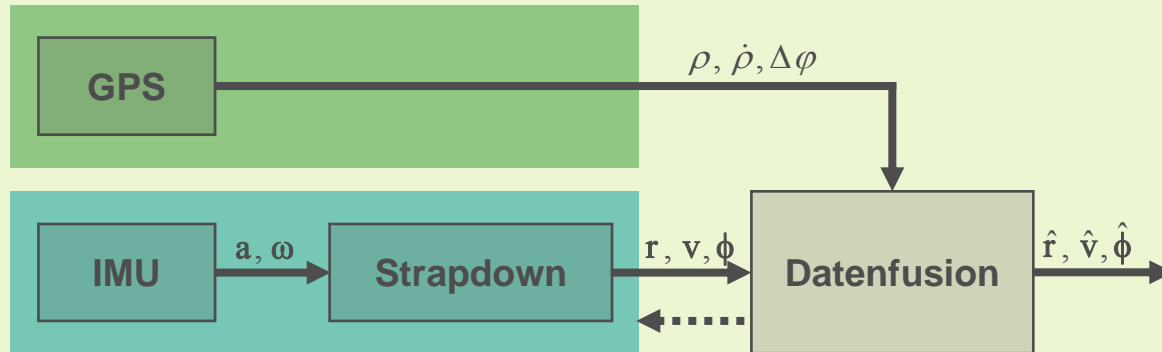
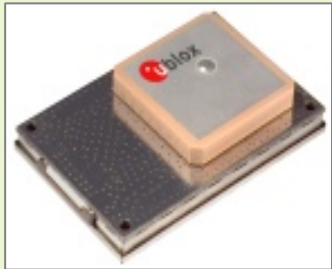
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Navigationsfilter - Ablauf



**Tightly Coupled GPS/INS Integration**



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Genauigkeit des Navigationssystems



## Flugversuch mit Präzisions-IMU mit faseroptischen Kreisel



Versuchsaufbau:  
MINC und FOG-IMU



Carolo T200 beim Seilstart

| Flugversuch | Navigationsfilter | Postprocessing |
|-------------|-------------------|----------------|
| Hängewinkel | 0.4°              | 0.3°           |
| Nickwinkel  | 0.4°              | 0.3°           |
| Gierwinkel  | 0.9°              | 0.5°           |

Genauigkeit  $1\sigma$



Technische Universität Braunschweig

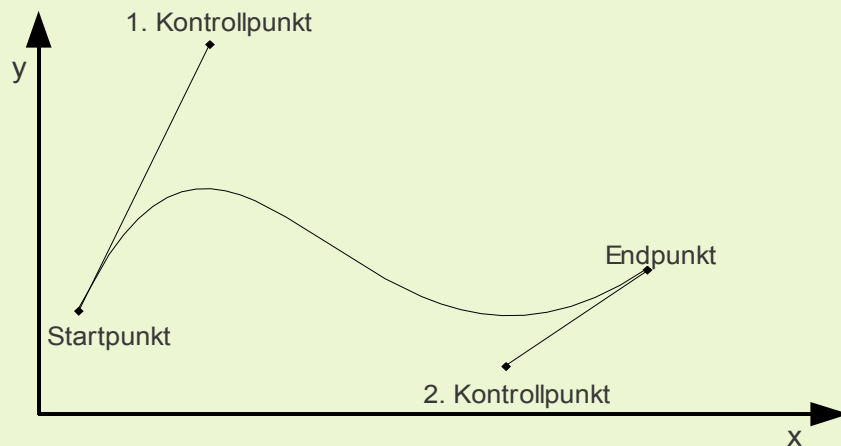
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Bahnführung auf Spline-Kurven



definiert durch:

$$x(t) = a_3 \cdot t^3 + a_2 \cdot t^2 + a_1 \cdot t + x_0$$

$$y(t) = b_3 \cdot t^3 + b_2 \cdot t^2 + b_1 \cdot t + y_0$$

$t$  = Laufparameter

$a$  und  $b$  = Koeffizienten aus  $x$ - $y$  Koordinaten

**Bekannte Trajektoriengeometrie ermöglicht die Berechnung wichtiger flugmechanischer Größen**



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Berechnung flugmechanischer Größen



**Hängewinkel im Kurvenflug:**

$$\tan \Phi = \frac{V^2}{g \cdot R_K}$$

**Krümmung am Spline:**

$$R_K^{-1} = \kappa = \frac{x'y'' - x''y'}{(x'^2 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

**Vorgesteuerter Hängewinkel:**

$$\Phi_{\text{vor}} = \arctan\left(\frac{V^2 \kappa(t_{\text{akt}})}{g}\right)$$



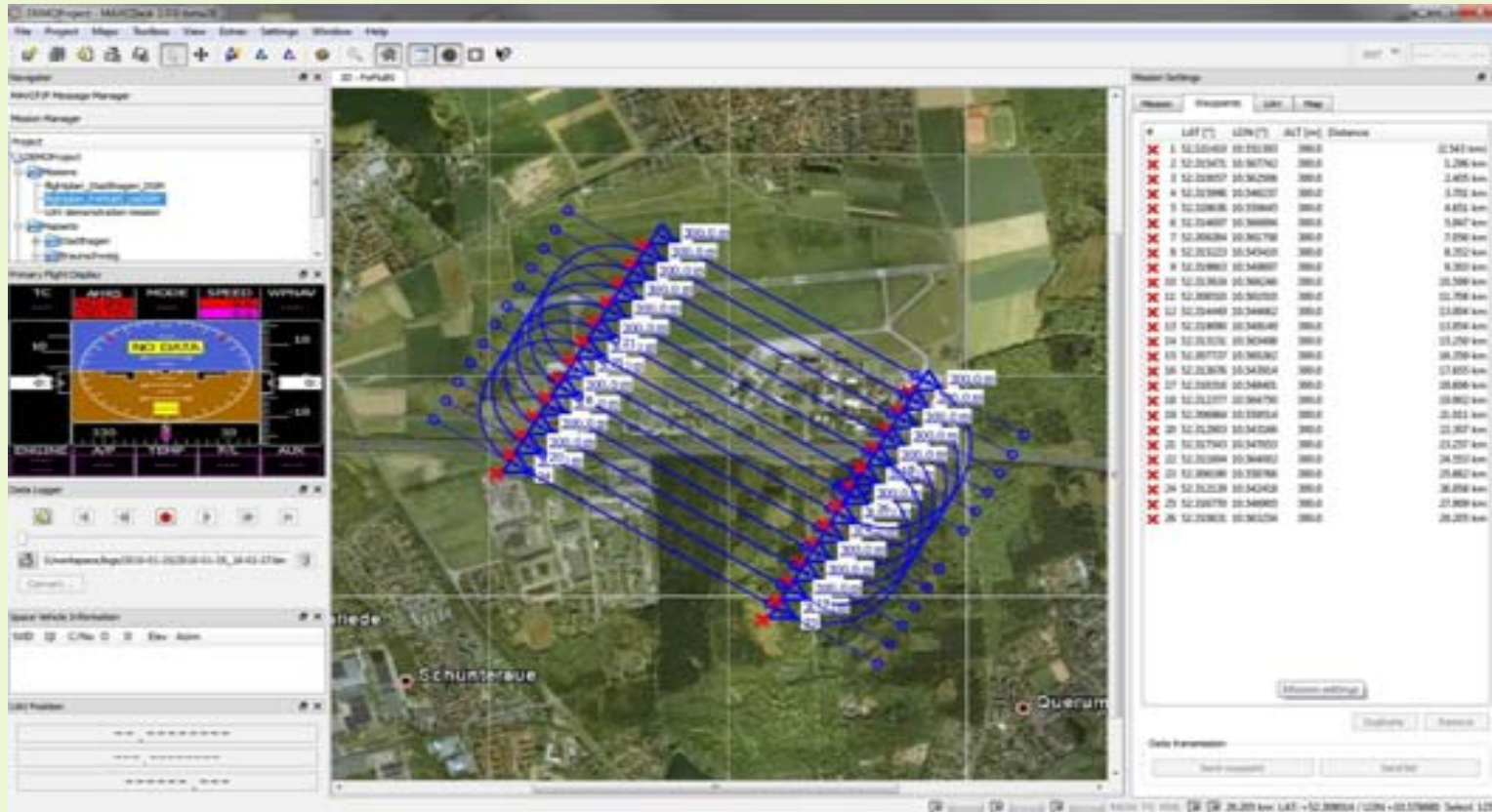
Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Beispiel einer Luftbildmission



Technische Universität Braunschweig  
 Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Optimierung der Flugplanung



Beispielpolygon am Flughafen Braunschweig

- Ziel: Automatisierung der Flugbahnplanung
- Vorgabe: Koordinaten der Eckpunkte eines Polygons
- Ausgabe: Flugbahn in der Bodenstationssoftware
- Einbindung eines DGM zur Bestimmung der Flughöhe
- Berücksichtigung der Kamera hinsichtlich Mindestabstand der Bahnen
- Gewünschte Überlappung bedingt den Auslösezeitpunkt



Technische Universität Braunschweig  
Institut für  
Luft- und Raumfahrtssysteme



THÜRINGENFORST



# Ergebnis des automatischen Prozesses inklusive DGM



Technische Universität Braunschweig  
Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme



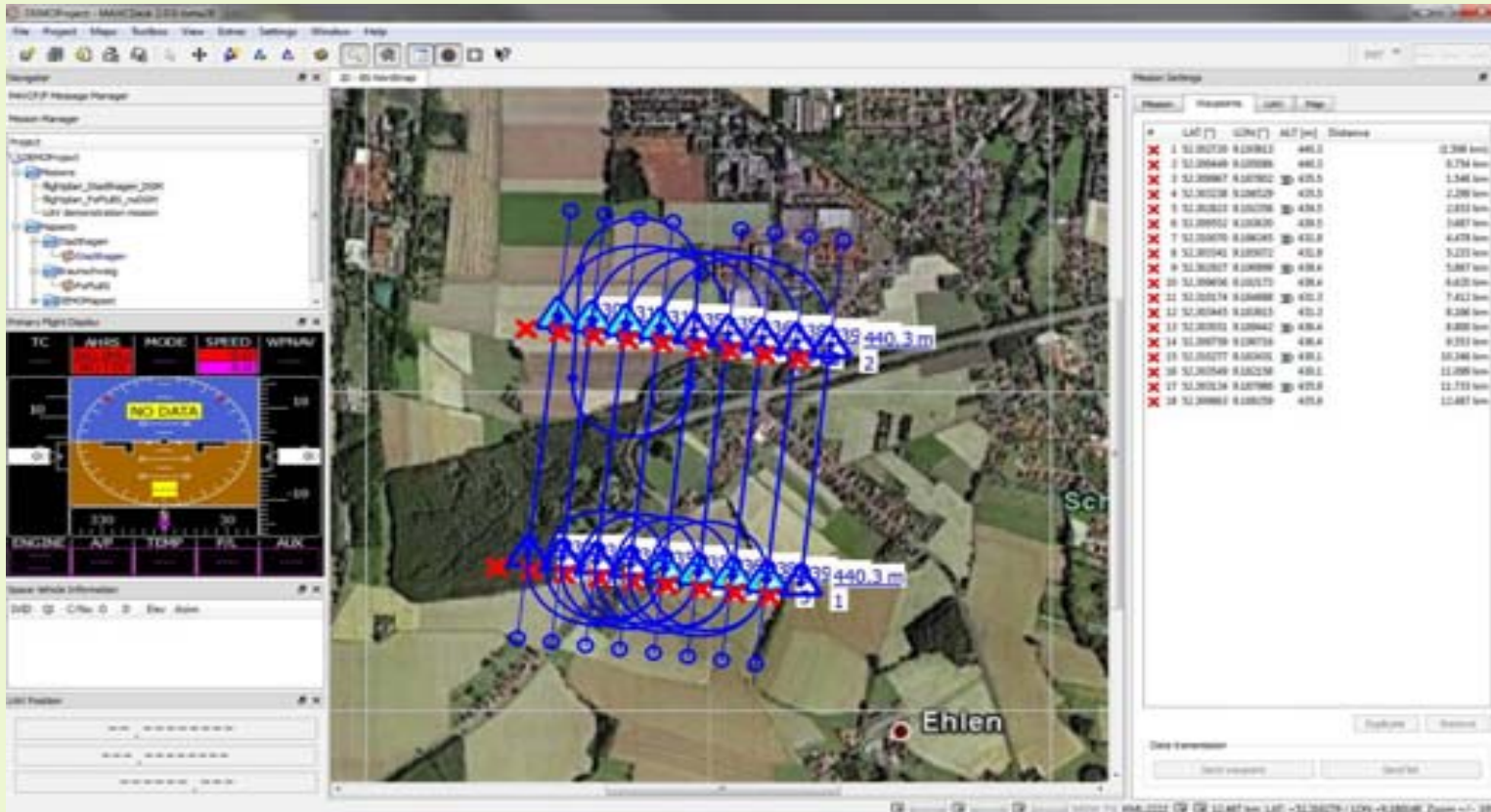
THÜRINGENFORST

GEODATIK  
Geodätische Datenverteilung GmbH



HK  
Datentechnik

MAVIONICS  
GmbH



# Kontakt

Thomas Krüger

Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme

[thomas.krueger@tu-bs.de](mailto:thomas.krueger@tu-bs.de)

0531-391-9977

Claus-Sebastian Wilkens

Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme

[c-s.wilkens@tu-bs.de](mailto:c-s.wilkens@tu-bs.de)

0531-391-9968

