

# Entwicklung einer Modellrakete mit Schubvektorsteuerung

Oliver Arend<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Solaris-RMB e.V.

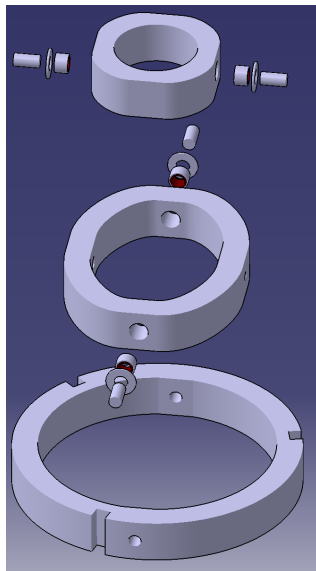
Göttingen, 11. Februar 2018

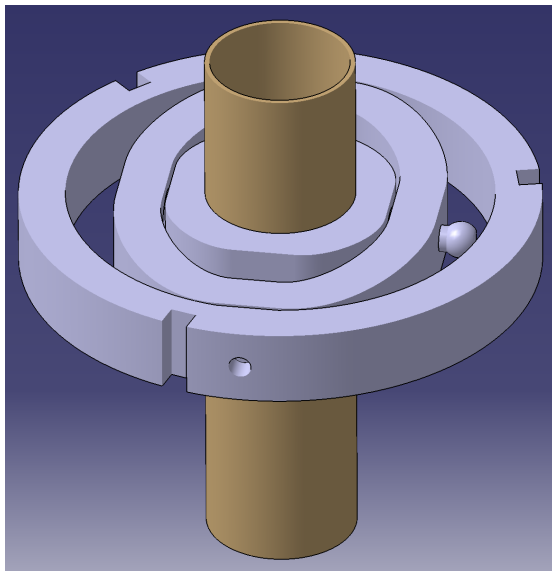
- 1 Zielsetzung
- 2 Mechanik
- 3 Elektronik
- 4 Simulation
- 5 Firmware
- 6 Ergebnisse

- Aktiv stabilisierte Rakete durch Schubvektorsteuerung
- Günstige, einfach erhältliche Komponenten, z. B.
  - Arduino
  - Modellbau-Servos
- Einfach nachzubauen
- Erfahrungen für größere, komplexere Raketen nutzen
- Alle notwendigen Informationen öffentlich verfügbar machen

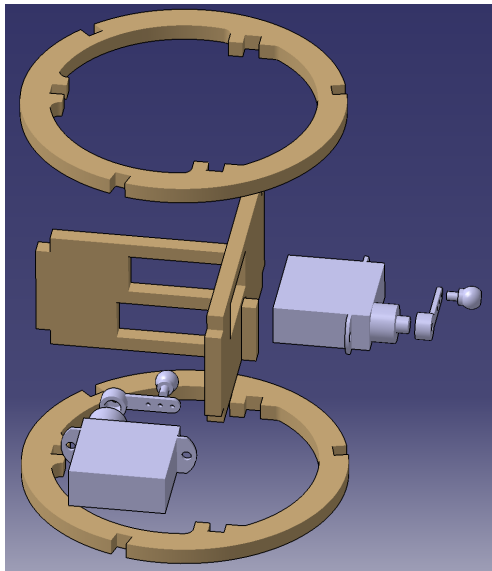
- Vorführung einer Schubvektorrakete durch Wolfgang Lang beim Flugtag in Manching 2015 (und seitdem immer wieder)
- Mehrere Iterationen für das Strukturdesign:
  - Werkstoff? Balsa, Pappelsperrholz, CfK ...
  - Herstellung? Laserschneiden, Fräsen, ...
  - Aktueller Stand: größtenteils gefrästes Flugzeugsperrholz, teilweise 3D-Druck
- Berechnung der aerodynamischen Beiwerte mit CFD
- Erstellung eines einfachen regelungstechnischen Modells
- Umsetzung in Firmware
- Probeflug

# Einzelteile kardananische Aufhängung

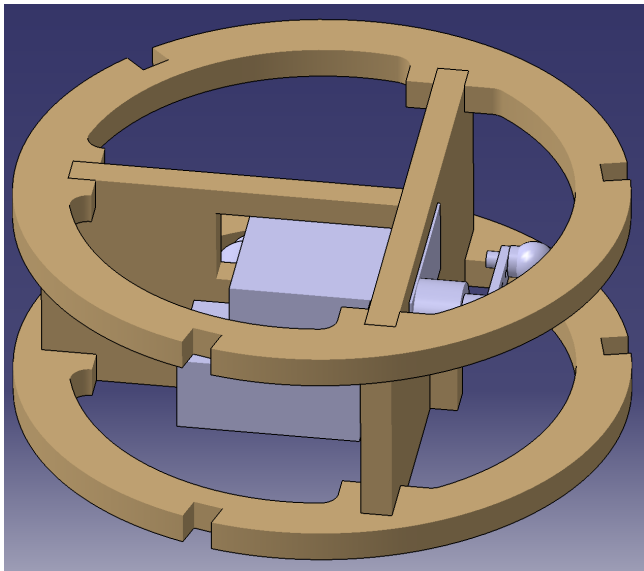




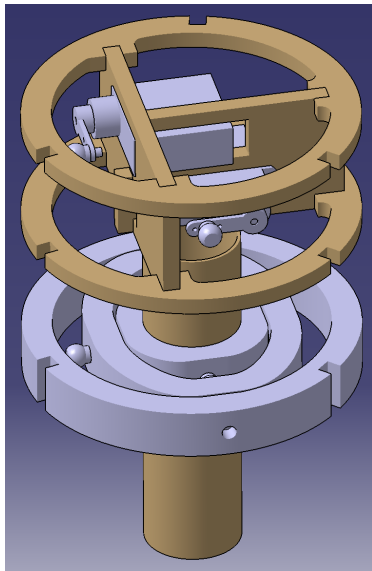
# Servos und Halterungen

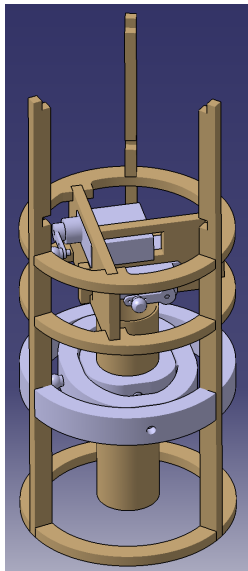


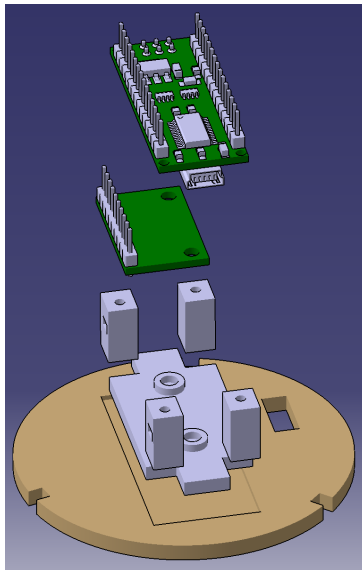
# Servos montiert



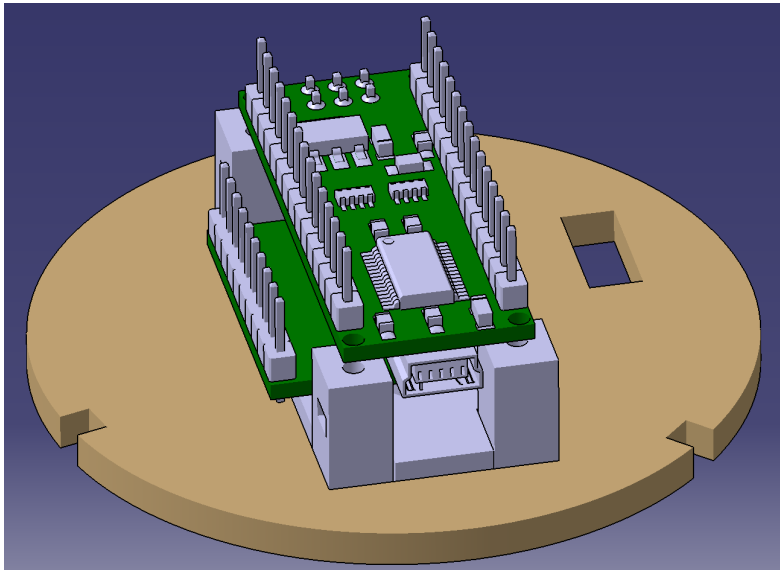




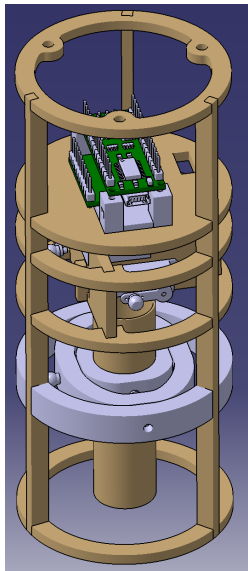


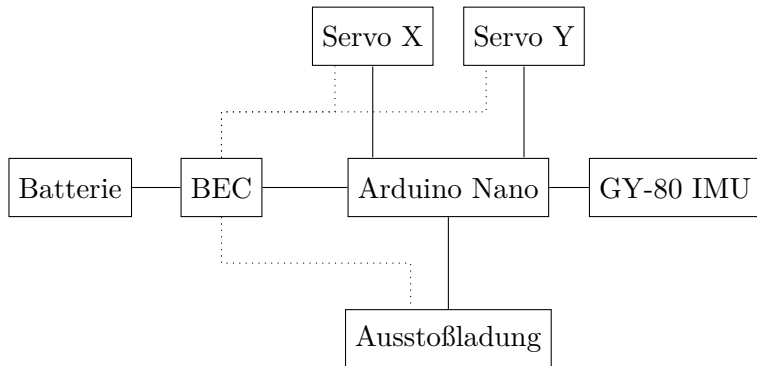


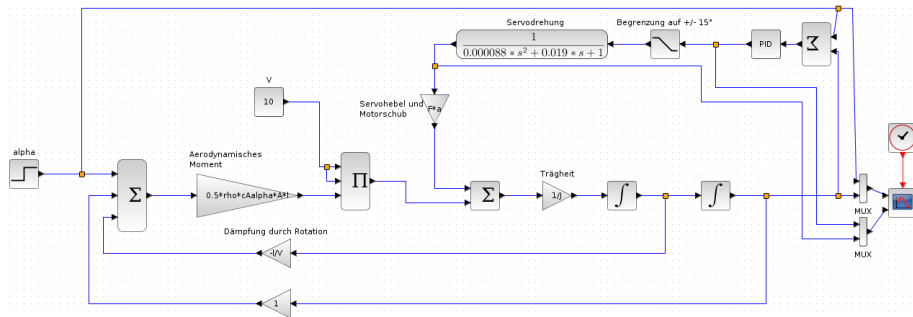
# Elektronik montiert – ohne Kabelsalat



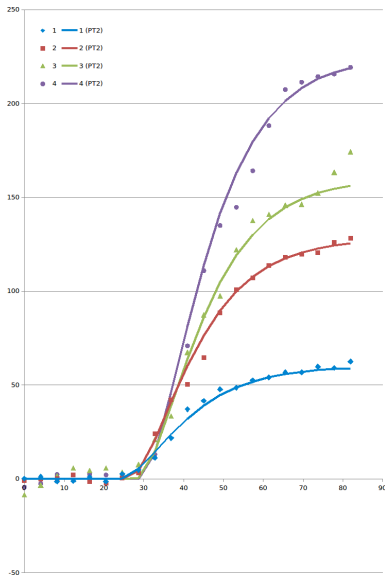
# Struktur komplett





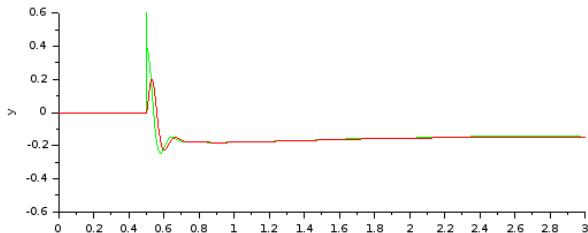
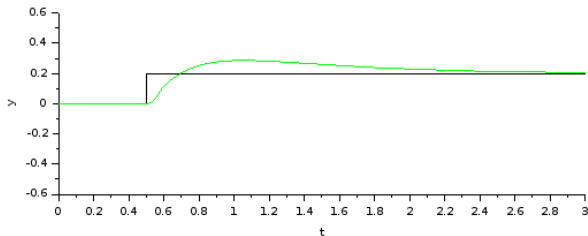


# Servoverhalten





# Vorhergesagte Reaktion auf Anstellwinkeländerung



$$K_P = 2,0; \quad K_I = 1,8; \quad K_D = 0,3$$

- State Machine mit drei Zuständen
- Ausführen der einzelnen Operationen alle 10 ms mittels Interrupt

## ① ON\_RAMP

- Messung der Beschleunigung in  $z$ -Richtung
- Messung der Drehraten um  $x$ - und  $y$ -Achsen
- Laufende Bildung von Mittelwerten für alle Messgrößen für Korrektur der Werte im Flug
- Überwachen der Beschleunigung, bei Überschreiten von  $20 \text{ m/s}^2$  Wechsel zu IN\_FLIGHT

## ② IN\_FLIGHT

- Flugzustandsschätzung mittels Kalman-Filter
- Vorhersage, z. B. für Flughöhe

$$\hat{h}_{i+1} = h_i + \Delta t v_i + \frac{1}{2} \Delta t^2 a_i \quad (1)$$

$$\hat{v}_{i+1} = v_i + \Delta t a_i \quad (2)$$

$$\hat{a}_{i+1} = a_i \quad (3)$$

- Korrektur

$$a_{i+1} = (1 - K_a) \hat{a}_{i+1} + K_a \tilde{a} \quad (4)$$

- Kalman-Gains wurden offline mit simulierten Werten ermittelt
- Berechnung der Soll-Position  $u$  des Servos der jeweiligen Achse anhand des Fehlers

$$E_\gamma = E_\gamma + \Delta t \gamma \quad (5)$$

$$u = K_P \gamma + K_I E_\gamma + K_D \dot{\gamma} \quad (6)$$

- Wechsel zu RECOVERY wenn ein Bahnwinkel  $90^\circ$  überschreitet oder die Geschwindigkeit unter 0 fällt

## ③ RECOVERY

- Pin für Ausstoßladung für 1 Sekunde auf **HIGH** setzen
- Servos auf Mittelposition stellen
- Bis in alle Ewigkeit die LED blinken lassen ...

Werdet Ihr gleich sehen ...