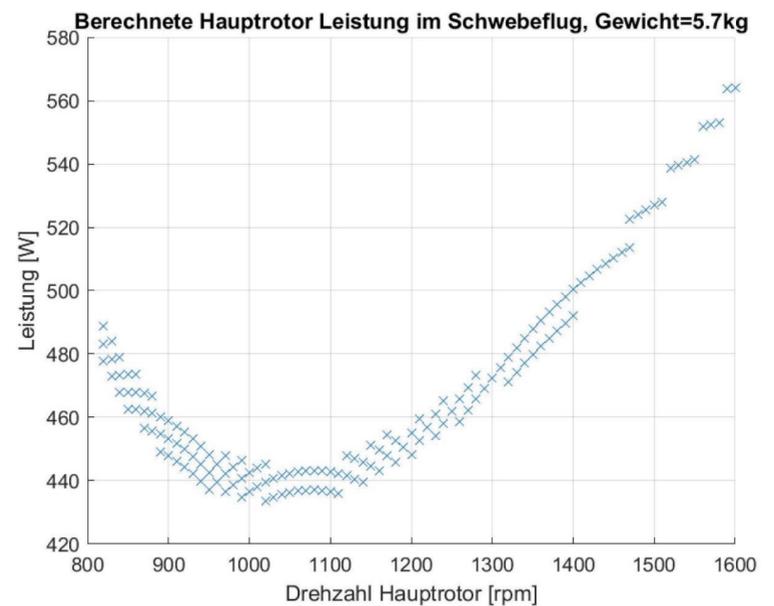
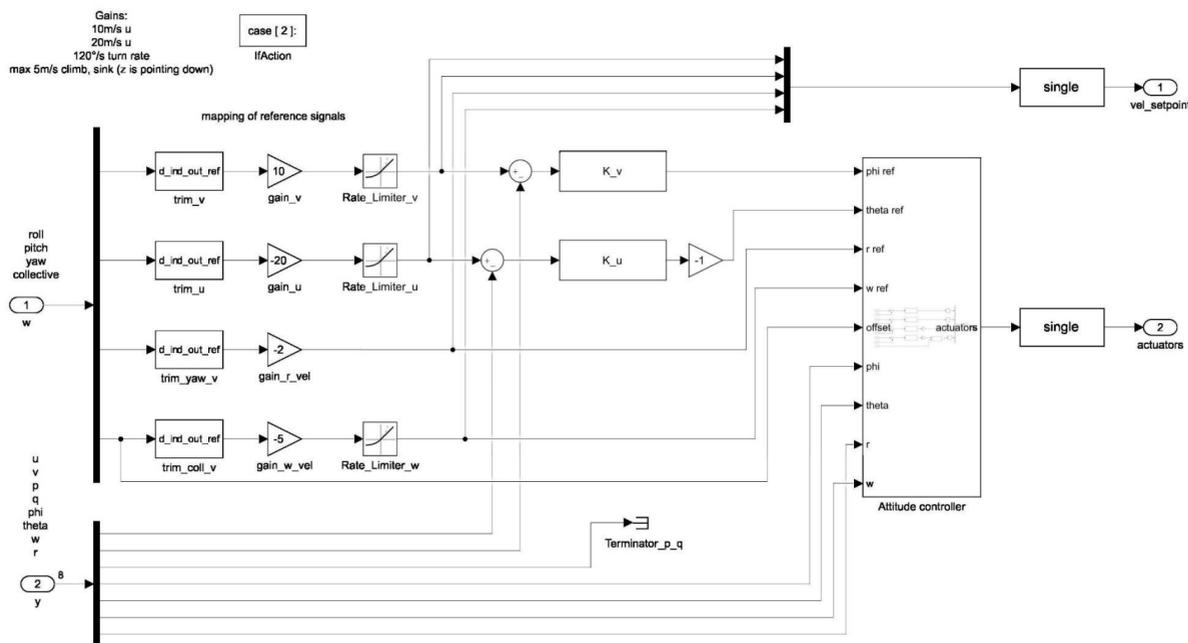
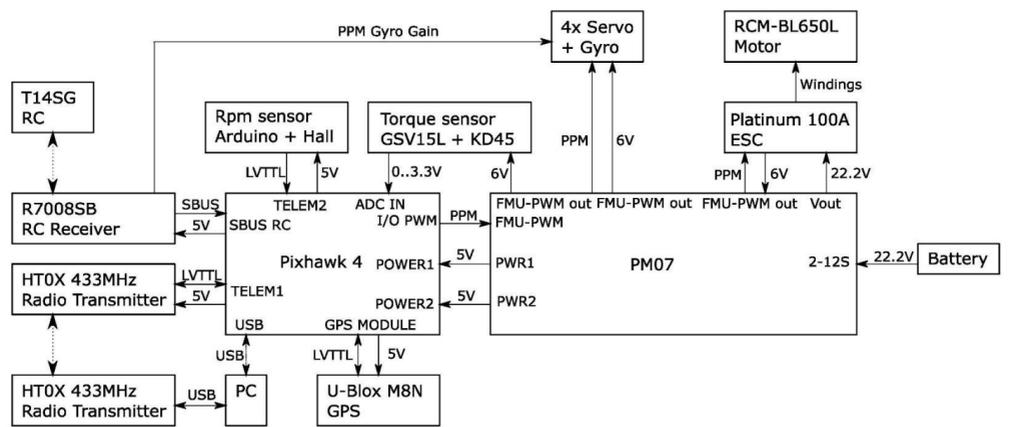


Master-Thesis Engineering, Fachgebiet Industrial Technologies

# Flugregelung für einen Helikopter mit variierender Drehzahl



**Problemstellung**

Sowohl bemannte als auch unbemannte Helikopter werden in der Regel ab Start bis Landung mit einer konstanten Drehzahl betrieben. Dies ist zwar aus Sicht der mathematischen, dynamischen Modellierung sinnvoll, jedoch ist es aus energetischer Sicht sinnvoll, die Drehzahl je nach Flugsituation anzupassen.

Aus diesem Grund wird in dieser Thesis anhand von einem realen, elektrischen Modellhelikopter festgestellt, wie sich die Flugeigenschaften bei variabler Drehzahl ändern. Dabei geht es insbesondere um den Schwebeflug, sowie den langsamen Reiseflug. Diese Flugprofile treten bei zahlreichen zivilen Anwendungen vorwiegend auf (Inspektion, Vermessung, Kartographie, Search & Rescue, etc.).

Das Fliegen ohne elektronische Unterstützung ist für einen Piloten sehr anstrengend, da kleine Modellhelikopter sehr agil sind und aufgrund der inhärenten Instabilität des Systems ein ständiges Stellsignal benötigen. Es ist ein Autopilotensystem erforderlich. Die Flugregelung ist jedoch deutlich schwieriger als bei Multikoptern.

**Lösungskonzept**

Der entworfene Autopilot basiert auf einem linearen, zeitinvarianten MIMO-Modell, welches die Flugeigenschaften des Helikopters charakterisiert. Die enthaltenen drehzahlabhängigen Modellparameter wurden aus theoretischen Herleitungen und gemessenen Flugdaten bestimmt.

Der Flugregler ist im Open-Source-Modul Pixhawk 4 eingebunden, welches alle Sensoren auswertet und die Aktuatoren des Helikopters ansteuert. Die Robustheit und die Genauigkeit des Reglers konnte in einem Simulator (Software-in-the-loop) und in zahlreichen Flugtests auf dem realen Helikopter demonstriert werden.

Zur Bestimmung der energieoptimalen Hauptrotordrehzahl werden verschiedene theoretische Ansätze basierend auf der Momentum Analyse und reale Flugdaten betrachtet. Um einen sicheren Flugbetrieb zu garantieren, müssen auch aerodynamische Effekte wie der Strömungsabriss (Stall) analysiert werden. Ein Verfahren zur adaptiven Drehzahländerung, welches Reisegeschwindigkeit, Steigrate und Kurvenflug berücksichtigt, wurde erarbeitet.

**Kim Lindinger**

Betreuer:  
Prof. Dr. Christoph Eck  
Prof. Dr. Peter Kolb  
M. Sc. Benedikt Imbach

Kooperationspartner:  
Institut für Elektrotechnik (IET),  
CC Autonome Systeme & Robotik