

UAV HELIKOPTER LOGO600SX

Robert Vilter, Nick Stuckert, Yannek Knöfel, Fabian Quaeck, Wolfgang Rütter-Kindel

Fachgebiet Luftfahrttechnik, Technische Hochschule Wildau

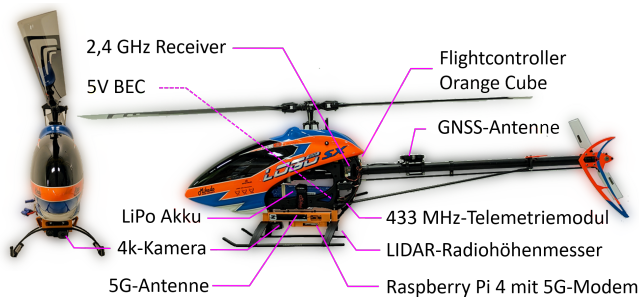


Fig. 1: Modifizierter Logo 600SX

1. EINLEITUNG UND HINTERGRUND

Als Verkörperung eines realen Helikopters wird ein Modell-Helikopter als UAV für das Projekt **6G NeXt** aufgebaut. Das Ziel ist es, automatische Flugmodi, wie z.B. Position Hold, Altitude Hold, Guided Mode und Auto Mode zum automatischen Abfliegen von Missionen durchführen zu können. Dies ermöglicht eine Reihe von Tests mit unterschiedlicher Nutzlast, wie z.B. 5G-Modems, Kameras, Umgebungssensoren. Gleichzeitig sollen Performance-Daten für vergleichende Untersuchungen des Antriebsstrangs gewonnen werden. Als Basis kommt ein RC-Modellhubschrauber des Typs **Mikado Logo 600SX** zum Einsatz. Das Modell zeichnet sich bereits im manuellen Fliegen durch gute Flugeigenschaften aus und überzeugt zudem durch ein sehr geringes Abfluggewicht von 3,8kg, wodurch lange Flugzeiten ermöglicht werden können.

2. AUFBAU UND AUSSTATTUNG

Der Grundaufbau des UAV Helikopters ist identisch zu herkömmlichen RC-Modellen. Der Logo 600 ist ein mittelgroßes Modell von ca. 1,6m Gesamtlänge und einem Rotordurchmesser von bis zu 1,4m mit Cyclic-Collective-Pitch-Management (CCPM) und Pitch-gesteuertem Heck. Der Antrieb erfolgt über einen Brushless-Motor mit 850kV, der bei einem Betrieb mit 22,2V (6S LiPo) und einem Getriebeübersetzungsverhältnis von 9,64:1 und einer Regleröffnung von 60% ca. 1100 Umdrehungen am Hauptrotor erzeugt. Der Heckrotor wird über einen Zahnriemen angetrieben, der

über ein Freilaufzahnrad geführt wird, sodass auch Autorotationen im Falle eines Antriebsausfalls möglich sind. Für die Versorgung der Servos an Heck und Taumelscheibe wird ein BEC mit 6V eingesetzt. Davon isoliert werden der Flightcontroller, daran angeschlossene GNSS-Antenne, 433MHz-Telemetriestrecke, ein Hall-Sensor zur Strom- und Spannungsmessung, LIDAR-Höhenmesser, 4k-Kamera und Beleuchtung, Raspberry Pi 4B (8GB RAM) und ein 5G-Modem (Quectel RM 520 N-GL) sowie vier Antennen mit 5V von einem separaten BEC versorgt. Für das Unterbringen der Zusatzaggregate wird ein Zwischendeck aus CFK zwischen Kufenbügel und Chassis eingefügt und der Helikopter durch 3D-gedruckte Stützen aus PLA (orange) angehoben, um mehr Bodenfreiheit zu schaffen (siehe Abbildung 1).

3. EINSTELLUNG DES MANUELLEN FLIEGENS

Die Grundvoraussetzung für alle Einstellungen ist zu Beginn ein vollkommen sauberer mechanischer Aufbau. Mit äußerster Sorgfalt müssen das Gestänge der Servos, der Blattspurlauf und das Heck eingestellt werden. Der Bereich für den kollektiven Blattanstellwinkel (Pitch) wird im Flightcontroller auf -4° bis $+11^\circ$ eingestellt, der maximale zyklische Blattanstellwinkel auf 8° . Wie sich in ersten Testflügen zeigte, ist das verwendete Flightcontroller-System vom Typ **Orange Cube** mit der Software **ArduCopter V4.4.4** sehr empfindlich für Vibrationen, die ihren Ursprung im mechanischen Antriebsstrang haben.

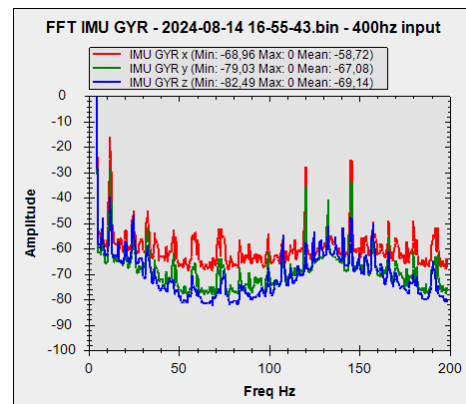


Fig. 2: Fouriertransformation der Drehraten Flug 1

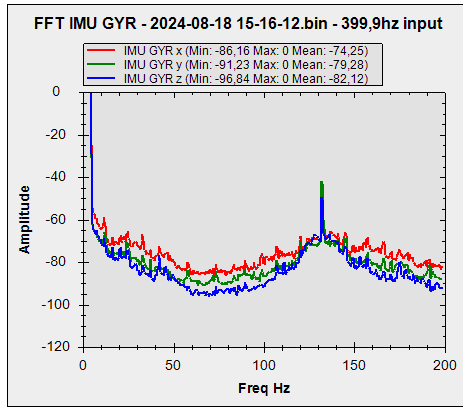


Fig. 3: Fouriertransformation der Drehraten Flug 2

Die Abbildung 2 zeigt die aus Daten von einem Testflug erzeugte Fouriertransformation der Drehraten. Deutlich sind eine Vielzahl an Schwingungen zu erkennen, insbesondere eine erhöhte Grundfrequenz bei ca. 130Hz, die der Umfangsgeschwindigkeit des Heckrotors entspricht. Die Oberschwingungen sind allerdings problematisch für den internen Kalman-Filter zur Bestimmung der eigenen Position und Lage. Nach Veränderung der Laufhöhe des Motorritzels im Hauptzahnrad und Neuzusammenbau des Heckrotors konnten die Oberschwingungen weitestgehend beseitigt werden (siehe 3). Die verbliebene Restschwingung wurde softwareseitig mit einem Notchfilter behandelt und dadurch nochmals etwas verbessert. Während des manuellen Fliegens wurden ebenfalls die Werte für den PID-Regler zur Lagehaltung im s.g. Stabilize-Mode optimiert. In diesem Modus hält der Helikopter von selbst eine Lage von 0° Roll- und Längslagewinkel ein, wenn keine Eingaben im RC-Sender erfolgen. Darüber hinaus wurde der Rollwinkel durch Hovern ermittelt, den der Helikopter aufgrund des Heckrotorversatzes zum Schweben auf der Stelle einnehmen muss. Letztendlich wurde das Gyro-Gain für den Heckkreis so eingestellt, dass das Heck auch bei Störungen nicht zu schwingen beginnt und dennoch nicht vom Wind "verweht" wird.

4. PERFORMANCE UND TUNING

Nach erfolgten Flugtests wurden die geloggten Parameter des Flightcontrollers ausgewertet. Anhand der in den Akku nachgeladenen Strommenge wurde der Verbrauch des Helikopters ermittelt. Es fanden Flüge mit einem symmetrischen Blattprofil sowie einem S-Schlagprofil mit geringer und mit großer Wölbung statt. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass mit den S-Schlag-Blättern mit geringer Wölbung die geringste Leistungsaufnahme gemessen werden konnte. Die symmetrischen Blätter liegen im Mittelfeld, am schlechtesten sind S-Schlagblätter mit großer Wölbung, da diese ein höheres Drehmoment benötigen. Der durchschnittliche Leistungsbedarf im Hovern liegt bei ca. 740W mit Peaks bis

auf 800W. Durch den Auftrieb infolge der Zusatzanströmung im Vorwärtsflug reduziert sich der Leistungsbedarf auf ca. 720W. Bei der eingestellten Drehzahl von 1100 Umdrehungen pro Minute wird ca. 60% Öffnung im Pitchkanal benötigt, woraus 5,5° kollektiver Blattstellwinkel resultieren. Bei dem verwendeten Test-Setup mit zwei 6S LiPo-Akkus mit je 5300mAh ergibt sich ein Abfluggewicht von 4,2kg. Im Durchschnitt resultiert damit ein spezifischer Leistungsbedarf von 2,9Wh/kg/Schwebeminute. Unter Berücksichtigung einer nach dem Flug im Akku zu verbleibenden Restmenge von 20% ergibt sich eine sichere Schwebeflugzeit von 15min.

5. EINSTELLUNG DER AUTO-FLUGMODI

Im Altitude Hold Mode hält der Helikopter die gemessene Flughöhe von selbst, sofern der Pitchkanal des Senders im Bereich zwischen 40-60% steht. Im Loiter-Modus wird zusätzlich auch die Position mithilfe des GNSS-Systems automatisch gehalten, sofern keine Eingaben in den Cyclic-Kanälen am Sender erfolgen. Die Reaktion auf ein Versetzen des Helikopters im Loiter-Modus in gleicher Höhe ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Anbringung der GNSS-Antenne am Heckausleger führte zu keinen Problemen. Die Messung der barometrischen Höhe im Flightcontroller ist jedoch von der induzierten Strömung des Hauptrotors beeinflusst, weshalb der Einsatz eines Radiohöhenmesser auf LIDAR-Basis zu besseren Ergebnissen führte. Die nächsten Schritte sind nun das automatische Versetzen im Guided-Modus (Einzelwegpunktvorgabe) und Missionsflüge zu erproben. Die bisherigen Ergebnisse sind sehr vielversprechend.

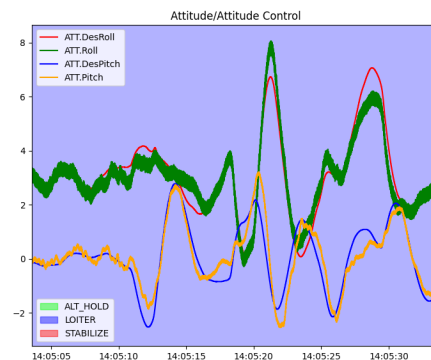


Fig. 4: Vergleich kommandierter (rot, blau) und tatsächlicher (grün, gelb) Roll- und Längslagewinkel (hier als Pitch bezeichnet)

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF – 16KISK176, 16KISK177, 16KISK183, 16KISK186.