

# HÖHENAUFSTIEG EINER STARRFLÜGELDROHNE IM VERBAND MIT EINEM ULTRALEICHTFLUGZEUG

S. Angermann, A. Frahm, D. Rieck, W. Rütter-Kindel  
Technische Hochschule Wildau, Fachgebiet Luftfahrttechnik, Deutschland

## Zusammenfassung

Unbemannte Luffahrtssysteme (Drohnen) haben in den letzten Jahren eine rasante technische Entwicklung und eine weite Verbreitung erfahren. Hierbei stellen sogenannte BVLOS<sup>1</sup> Flüge nicht nur eine besondere technische, sondern auch rechtliche Herausforderung<sup>2</sup> dar. Einen zusätzlichen Sonderfall nehmen hierbei Flüge in großen Höhen ein. Im Zuge des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhabens SAPODS<sup>3</sup> plante das Fachgebiet Luftfahrttechnik der Technischen Hochschule Wildau Flüge eines unbemannten Luffahrtssystems in Höhen von bis zu 5.000 m.

## Keywords

Luftfahrt, unbemannte Luffahrtssysteme, Drohne, BVLOS, Ultraleichtflugzeug, Katastrophenschutz, SAPODS

## 1. EINLEITUNG

Ausgangspunkt bei der Beantragung des hier vorgestellten Vorhabens waren mehrere dramatische Großschadenslagen. So haben z.B. die Vulkanausbrüche des Eyjafjallajökull (Island 2010) und Grimsvötn (Island 2011) deutlich gemacht, wie fragil der hochvernetzte, zivile Luftverkehr in Wahrheit ist. Ein Großteil des europäischen Luftraums musste infolgedessen tagelang gesperrt werden. Die Nuklearkatastrophe von Fukushima (Japan 2011) hat auf dramatische Weise gezeigt, dass auch hochindustrialisierte Staaten solchen Unglücksfällen teilweise hilflos ausgeliefert sind. Großbrände wie in Krefeld (09/2012) sowie Chemieunfälle wie in Bad Fallingbommel (10/2012) haben offenbart, dass trotz aller Sicherheitsmaßnahmen auch in Deutschland Schadensereignisse mit hohem Umweltrisiko nicht ausgeschlossen werden können.

Allen Katastrophen- bzw. Unglücksfällen gemein ist die Notwendigkeit einer möglichst schnellen und präzisen Aufklärung, da eine zuverlässige Situationsanalyse sonst kaum möglich ist und somit die Entscheidungsgrundlage für geeignete Reaktionsmaßnahmen fehlt.

Für derartige Aufklärungsszenarien bieten sich unbemannte Systeme in besonderem Maße an, da sie bei minimiertem Einsatzrisiko vergleichsweise kostengünstig in der Anschaffung sowie im Betrieb sind. Vor allem die Gewinnung von Luftbildern durch Drohnen zur optischen Lagebeurteilung ist mit solchen Systemen Stand der Technik. Es sind jedoch weder bemannte noch unbemannte Systeme verfügbar, mit denen in hochbelasteten, aggressiven Umgebungsbedingungen, wie sie beispielsweise bei einem Vulkanausbruch auftreten, Partikel- und Schadstoffmessungen vor Ort durchgeführt werden können.

Vorrangiges Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhabens SAPODS

war daher der Bau einer an solche Einsätze angepassten Messdrohne. Als Ausgangsbasis für eine solche Drohne diente die an der TH Wildau entwickelte Messdrohne ATISS. Diese ist als elektrisch angetriebener Motorsegler ausgelegt und damit bereits vom Grundkonzept in besonderer Weise für den Einsatz in stark belasteter Atmosphäre geeignet. Durch die leistungssparende Auslegung war zudem die Grundlage für die notwendigen Flüge in Höhen von ca. 5.000 m und der damit verbundenen Flugdauer gegeben.

## 2. MESSDROHNE

Vorrangiges Ziel des Vorhabens SAPODS war die Umsetzung eines hochinnovativen unbemannten Luffahrtssystems, welches unter schwierigsten Umgebungsbedingungen für vielfältige Messaufgaben eingesetzt werden kann.

Die Auslegung der Messdrohne ATISS erfolgte ursprünglich für Einsätze in niedrigen Flughöhen und unter Sichtbedingungen. Für die Erfüllung der Ziele des Vorhabens SAPODS waren daher umfangreiche Modifikationen sowie Optimierungen notwendig. Die hierbei verfolgten Ziele waren:

- höhentauglicher Antrieb (optimiertes Antriebssystem)
- aerodynamische Optimierungen
- Einsatz unter widrigen Umgebungsbedingungen

Grundlage für die Auslegung des höhentauglichen Antriebsstrangs und die aerodynamische Optimierung war die Identifikation der energieintensivsten Flugphase der Flugmission. Zwar benötigt die Startphase die größte absolute Antriebsleistung, jedoch benötigt der Steigflug durch die lange Steigphase die größte Energie. Aus diesem Grund bildete der Steigflug die Basis für die Auslegung des höhentauglichen Antriebsstranges sowie für die aerodynamischen Optimierungen.

Neben diesen Optimierungen wurden zusätzlich auch verschiedene konstruktive Verbesserungen erarbeitet, die

<sup>1</sup> engl. „Beyond visual line of sight“

<sup>2</sup> § 21a sowie § 21b Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO)

<sup>3</sup> Smart Airborne Pollutants Detection System

beispielsweise die Transportierbarkeit verbessern, den Aufrüstaufwand reduzieren, die Fertigung vereinfachen und die Austauschbarkeit einzelner Baugruppen ermöglichen. BILD 1 zeigt die modifizierte und optimierte Messdrohne.

Die umfangreichen, konstruktiven Modifikationen erfolgten unter Nutzung moderner CAD-Werkzeuge. Sämtliche aerodynamische Untersuchungen wurden mittels CFD-Simulationen durchgeführt.

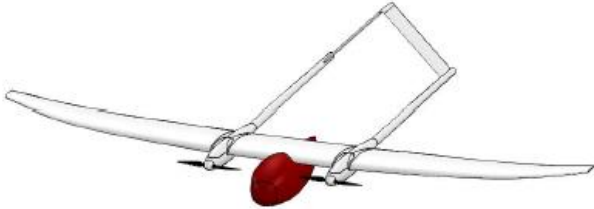


BILD 1. Darstellung der optimierten Messdrohne

## 2.1. Anpassung des Antriebssystems

Für Messflüge in großen Höhen von 5.000 m und darüber muss das gesamte Antriebssystem an die Höhen- sowie die widrigen Umgebungsbedingungen angepasst sein. Um Schädigungen durch aggressive Luftbestandteile (Korrosion sowie Abrasion) auszuschließen, musste der komplette Antriebsstrang gekapselt werden. Außerdem musste der Antriebsstrang, insbesondere der Propeller, auf das Missionsprofil sowie die Umgebungsbedingungen angepasst werden.

Für die Untersuchung der thermischen Belastbarkeit des Antriebsstranges wurden hierzu auf dem fachgebietseigenen Prüfstand für Elektroantriebe (PRELA) verschiedenste Untersuchungen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde der Antriebsstrang zunächst ungekapselt einem Referenzversuch unterzogen. Anschließend wurde ein auf das Missionsprofil angepasster Ausleger (z.B. keinerlei Kühlluftöffnungen, siehe BILD 2) der Messdrohne am Prüfstand untersucht.

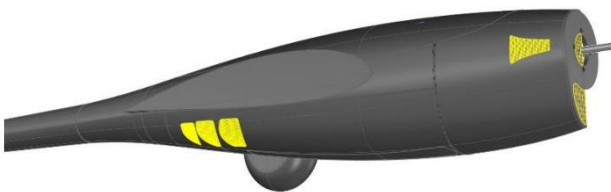


BILD 2. geschlossener Rumpfausleger

Bei den Untersuchungen zur thermischen Belastbarkeit des Antriebsstranges wurde von der für das effizienteste Steigen benötigten Wellenleistung  $P_{\text{Welle}}$  von rund 750 W pro Antriebsstrang ausgegangen. Hierbei ergibt sich über die einzelnen Wirkungsgrade  $\eta$  eine Wärmeverlustleistung von 225 W und somit ein Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{Gesamt}}$  für einen Antriebsstrang von 77%. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Untersuchungen wurde ein Kühlkreislauf entwickelt, der die Wärmeabfuhr aller Wärmequellen gewährleistet, wobei sich die Gesamtverlustleistung des Antriebs zu rund 21% (48 W) aus der Motorverlustleistung, zu 40% (89 W) aus der

Reglerverlustleistung und zu 39% (88 W) aus der Akkuverlustleistung zusammensetzt.

Neben der Gewährleistung der erforderlichen Kühlleistung wurde die Optimierung des gesamten Antriebssystems verfolgt. Diese Optimierung hat dabei zwei positive Effekte. Zum einen führt die Verringerung der Verlustleistung der einzelnen Komponenten zu einer Entlastung des Kühlsystems und zum anderen zu einer erhöhten Flugzeit bei gleicher zur Verfügung stehender Akkukapazität.

In einem iterativen Prozess wurde eine optimierte Motor-Propeller-Kombination ausgelegt. Entsprechend des gewählten Betriebspunktes wurde mit einem Propellerauslegungstool ein spezieller Höhenpropeller entwickelt, mittels CFD Simulationen untersucht, anschließend gefertigt und in Prüfstandversuchen validiert. Im Vergleich zum bisher eingesetzten Propeller wurde hierdurch für die energieintensiven Flugphasen *Start* und *Steigflug* eine Effizienzsteigerung von jeweils rund 6% erreicht.

Neben der Motor-Propeller-Kombination wurden weiterhin unterschiedliche Akku-Modelle hinsichtlich Effizienz und Leistungsfähigkeit untersucht. Hier zeigte sich bei maximaler Antriebsleistung in der Startphase eine durchaus unerwartete Spreizung der Wirkungsgrade zwischen den Modellen verschiedener Hersteller von bis zu 13 Prozentpunkten.

## 2.2. Aerodynamische Optimierung

Neben der Optimierung des Antriebssystems spielt die aerodynamische Optimierung des Gesamtsystems eine entscheidende Rolle. Die Reduzierung des Gesamtwiderstands führt zu einer Verringerung des Energiebedarfs und bildet damit die Voraussetzung für lang andauernde Flugmissionen und Aufstiege in große Flughöhen.

Alle aerodynamischen Optimierungen wurden mittels umfangreicher numerischer Strömungssimulationen (CFD) durchgeführt. Es wurden dabei unter anderem folgende aerodynamische Optimierungen berücksichtigt:

- Einziehfahrwerk
- Schließen aller Kühlluftöffnungen
- Anpassung der Flügelgeometrie
- Modifizierung der Rumpffgeometrie
- Berücksichtigung der Flügel-Rumpf-Kombination
- Winglets

Das Einziehfahrwerk wurde so im unteren Bereich des Rumpfauslegers integriert, dass im oberen Bereich möglichst viel Raum für die Installation der Komponenten des Antriebsstranges sowie des Kühlsystems vorhanden ist (siehe BILD 3). Die Einbaulage im unteren Teil des Rumpfauslegers wirkt sich zudem günstig auf die Fahrwerkslänge aus, um den erforderlichen Freiwinkel bei ausgefahrenem Fahrwerk zu gewährleisten. Durch die Integration des Einziehfahrwerks in einen separaten Fahrwerksschacht lassen sich eine Kontamination und eine Verschmutzung des Rumpfinnenen auch bei ausgefahrenem Fahrwerk verhindern. Durch die Optimierung des Flügelgrundrisses, der Tragflügelprofile und deren Verteilung sowie der Flügelverwindung konnte eine zusätzliche Widerstandsreduzierung erreicht werden.

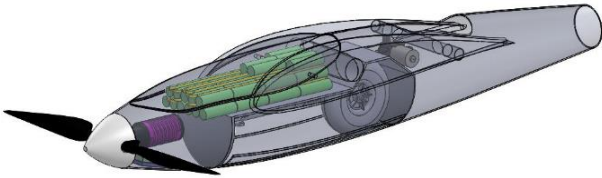


BILD 3. neues Rumpfdesign mit integrierten Komponenten

Durch die aufgeführten Maßnahmen konnte der Widerstand des gesamten Rumpfes reduziert und die Aerodynamik der Messdrohne optimiert werden. Dies zeigte sich besonders in der Verbesserung der Gleitzahl für das beste Gleiten um rund 51% und für das geringste Sinken um rund 52%. Die minimale aerodynamische Verlustleistung und der minimale Widerstand konnten um rund 38% reduziert werden. Neben einer globalen Widerstandsreduzierung und damit einer allgemeinen Verringerung des Energiebedarfes konnte eine deutliche Verbesserung im maximal erreichbaren Auftriebsbeiwert um 11% auf 1,27 erreicht werden. Insgesamt konnten durch die aerodynamische Optimierung die Stallcharakteristik sowie die Langsam- und die Schnellflugeigenschaften verbessert werden.

### 2.3. Autopilot und Telemetrie

Die Flugmissionen sollten mit Autopilotenunterstützung durchgeführt werden. Der Autopilot erlaubt automatisierte Messflüge ohne weitere Eingriffe eines Steuerers. Lediglich Start und Landung sollten manuell gesteuert werden. Die Messdrohne ist daher mit einer konventionellen Fernsteuerung ausgerüstet, mit welcher der Steuerer die Kontrolle vom Autopiloten übernehmen kann. Diese Fernsteuermöglichkeit sollte auch während der Missionsflüge als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme erhalten bleiben. Um dies zu ermöglichen, ist auch während des Fluges eine gesicherte Funkverbindung von der Bodenstation zur Messdrohne erforderlich. Dem Autopiloten- sowie dem Telemetriesystem kommt somit eine zentrale Rolle zu.

Für die Evaluierung eines geeigneten Autopilotensystems sowie dessen Parametrisierung wurden umfangreiche Erprobungsflüge durchgeführt. Untersucht wurde hierbei neben dem eigentlichen Autopiloten, dessen Software für die Bodenkontrollstation sowie diverse Funktionen der Missionsplanung. Dies umfasste im Wesentlichen den für die geplante Flugmission des Vorhabens nötigen Funktionsumfang. Zu den getesteten Funktionen gehörten das Abfliegen von Wegpunkten, die Durchführung von Steigflügen nach definierten Parametern, der Loiter<sup>4</sup>-Modus und die automatische Rückkehr zum Startpunkt. Weiterhin wurden Flüge bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen durchgeführt, um insbesondere das Flugverhalten bei starkem sowie böigem Wind zu testen.

Um Risiken für die Messdrohne zu vermeiden und den Aufwand zu reduzieren wurden die Autopilotensysteme zunächst in den Demonstrator TH-TwinStar eingerüstet. Hierfür wurde die gleiche Sensorik verbaut, welche auch anschließend in der Messdrohne Verwendung finden sollte. Durch die Flugversuche mit dem TH-TwinStar konnte die Tauglichkeit des Autopilotensystems Pixhawk 2 für den

geplanten Einsatz in der Messdrohne aufgezeigt werden. Nach der Integration des Autopiloten in die Messdrohne und der Überprüfung der Funktionalität am Boden wurden die ersten Flugversuche auf dem Flugplatzgelände in Oehna-Zellendorf (EDBO), analog zu den vorigen Flugversuchen mit dem Demonstrator TH-TwinStar, durchgeführt. Nach insgesamt 12 Flügen konnte die Parametrisierung abgeschlossen werden, sodass das System für die geplante Flugmission einsatzbereit war.

Das Missionsszenario des Vorhabens SAPODS beinhaltet vom Autopiloten geführte Messflüge auf 5.000 m Höhe. Diese führen missionsbedingt zu Flügen außerhalb der natürlichen Sicht eines am Boden stehenden Steuerers. Zur Gewährleistung der allgemeinen Sicherheit und zur dauerhaften Flugzustandsüberwachung während des automatisiert gesteuerten Missionsfluges war es notwendig, dass ein zweiter Steuerer immer in Sicht- und Steuerreichweite der Messdrohne verbleibt, um in Gefährdungssituationen manuell eingreifen zu können.

Um dies zu realisieren, wurde durch ein bemanntes Begleitflugzeug mit dem zweiten Steuerer (Sicherheitspilot) an Bord die Messdrohne während des Fluges begleitet. Start und Landung wurden von einem Steuerer am Boden durchgeführt, so dass die Steuerung für die eigentliche Flugmission an den Sicherheitspiloten im Begleitflugzeug übergeben werden musste. Um diese Übergabe der Steuerung zwischen zwei örtlich getrennten Steuerern zu ermöglichen, wurde eine Senderumschaltung realisiert, welche den gleichzeitigen Betrieb von zwei unabhängigen Funkfernsteuerungen mit nur einem gemeinsamen Empfänger ermöglicht. Erst hierdurch wird ein sicherer Flugbetrieb von Messdrohne und bemanntem Begleitflugzeug im Verbund gewährleistet. Hierbei handelt es sich um eine technische Sonderlösung, da eine solche Möglichkeit von den üblichen 2,4 GHz-Systemen explizit ausgeschlossen wird.

### 3. FLUGERPROBUNG

Die geplante Durchführung der Flugmission als Verbund eines Ultraleichtflugzeuges und eines unbemannten Luftfahrtsystems war nach eigenen Erkenntnissen ohne Beispiel. Dieser Aufgabe wurde daher mit großem Respekt begegnet und ein Vorgehen in kleinen Schritten gewählt, um die notwendige Erfahrung und Sicherheit aufzubauen und weiter zu entwickeln. Bei den ersten Versuchen ab Herbst 2017 am Flugplatz Oehna-Zellendorf blieb das Begleitflugzeug daher sogar zunächst am Boden. Zur Untersuchung der manuellen Steuerbarkeit der Messdrohne aus einem sich bewegenden Flugzeug heraus wurden anschließend unterschiedliche Situationen im praktischen Versuch mit einem Ultraleichtflugzeug „FA01 Peregrine“ der Fläming Air GmbH betrachtet (siehe BILD 4). Ziel war die Sicherstellung der dauerhaften Lageeinschätzung und Kontrolle über die Messdrohne durch den Sicherheitspiloten aus einem Begleitflugzeug heraus. Als Ergebnis der Flugversuche konnte festgestellt werden, dass eine Begleitung der Messdrohne mit einem Begleitflugzeug zur Überwachung des automatisierten Fluges grundsätzlich möglich ist. Bei leichten Lageabweichungen kann der Sicherheitspilot im Begleitflugzeug manuell eingreifen und den Flugweg

<sup>4</sup> Automatischer Kreisflug um einen definierten ortsfesten Punkt.

korrigieren. Sollte die Messdrohne in einen kritischen Flugzustand geraten, ist es aufgrund der erschwerten Lage- und Geschwindigkeitseinschätzung allerdings sehr schwierig, diese Situation abzufangen. Jedoch kann der Sicherheitspilot die Mission abbrechen und eine Notfallprozedur (z.B. Auslösen eines Fallschirms) einleiten, so dass die Messdrohne gesichert zu Boden sinkt und nicht unkontrolliert abstürzt oder die Flugpfade anderer Luftverkehrsteilnehmer kreuzt. Zum Abschluss der Versuchskampagne 2017 musste festgehalten werden, dass das Fliegen im Verband weiterer Testflüge bedurfte. Zur Verbesserung der Kontrollierbarkeit der Messdrohne durch den Sicherheitspiloten im Begleitflugzeug wurde zusätzlich der unterstützende Einsatz eines FPV<sup>5</sup>-Systems untersucht. Dies brachte jedoch nicht den gewünschten Erfolg und wurde daher im Verlauf der Flugerprobung nicht weiter berücksichtigt.

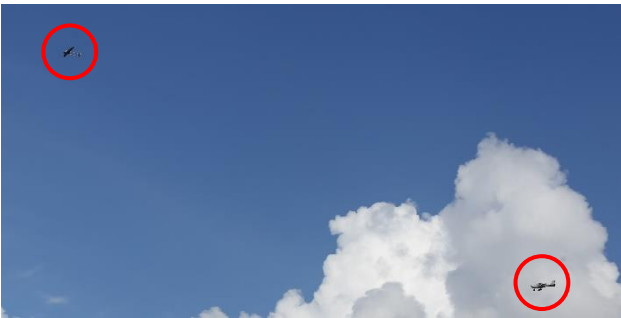


BILD 4. Drohne mit Begleitflugzeug

Durch die verstärkten Aktivitäten des Fachgebiets Luftfahrttechnik der TH Wildau am Flugplatz Schönhagen (EDAZ) entstand gemeinsam mit der Geschäftsführung der Flugplatzgesellschaft die Bestrebung, die Höhentests am Flugplatz Schönhagen bis an den Luftraum C durchzuführen. Entsprechend der Luftraumstruktur über dem Flugplatz ergab sich hieraus eine Höhenbeschränkung auf 2.500 ft (760 m). Durch die örtliche Nähe zu Berlin und das vergleichsweise hohe Luftverkehrsaufkommen am und um den Flugplatz Schönhagen erforderten die geplanten Flugversuche eine umfassende und langfristige Planung sowie die Einbeziehung aller nachfolgend genannten, beteiligten Stellen:

- Fachgebiet Luftfahrttechnik der TH Wildau
- Flugplatz Schönhagen (EDAZ)
- Gemeinsame Obere Luftfahrtbehörde Berlin-Brandenburg
- Luftfahrtbundesamt (LBA)
- Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS)

Es sollten gestaffelte Steigflüge bis in die maximale Höhe von 2.500 ft durchgeführt werden. Die Planung sah vor, sich schrittweise an die gesamte Flugmission anzunähern und jede einzelne Flugphase durch den Sicherheitspiloten an Bord des Begleitflugzeugs zu überwachen.

In einer ersten Planungsstufe der Flugversuche sollte neben dem Begleitflugzeug auch die Messdrohne mit einem Transponder zur Sichtbarmachung für den bemannten Luftverkehr ausgerüstet werden. Der Einsatz

eines Transponders scheiterte jedoch letztlich aufgrund der beiden nachfolgend genannten Punkte:

- Die 24-Bit Adresse für einen Mode S Transponder wird durch das Luftfahrtbundesamt auf Antrag erteilt. Für Drohnen gibt es bisher keine genehmigungsrechtliche Grundlage für die Vergabe einer derartigen Adresse, so dass diese vom LBA für die geplanten Flugversuche nicht erteilt werden konnte.
- Von Seiten der DFS bestand der Wunsch, die Messdrohne explizit nicht mit einem Transponder auszurüsten, da hierdurch dem Controller für die Zeit der Flugversuche durch den Transponder des Begleitflugzeuges gefährliche Annäherungen signalisiert würden.

Durch die Höhenbegrenzung auf 2.500 ft und das vergleichsweise hohe Luftverkehrsaufkommen am und um den Flugplatz Schönhagen wurde auf Vorschlag der DFS Kontakt zum Betreiber des Sonderlandeplatzes „Altes Lager“ aufgenommen, um mit den geplanten Höhentests auf diesen Sonderlandeplatz auszuweichen. Folgende Beteiligte waren bei der Flugplanung und Flugdurchführung am Sonderlandeplatz „Altes Lager“ einzubeziehen:

- Fachgebiet Luftfahrttechnik der TH Wildau
- Drachenflieger-Club Berlin e.V.  
(Betreiber des Sonderlandeplatzes „Altes Lager“)
- Gemeinsame Obere Luftfahrtbehörde Berlin-Brandenburg
- Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS)
- Dragonfly Luftsport-Dienstleistungen  
(Bereitstellung des Begleitflugzeuges TL 232 Condor)

Nach erfolgreichen ersten Test- und Rendezvousflügen der Messdrohne mit dem Forschungsflugzeug JULIA der TH Wildau am Sonderlandeplatz „Altes Lager“ im Mai 2019 konnte die Freigabe der Höhentests bei den entsprechenden Institutionen (Gemeinsame Obere Luftfahrtbehörde Berlin-Brandenburg und Deutsche Flugsicherung GmbH) beantragt werden.

Die grundsätzliche Genehmigung der Höhentests erfolgte bis an den Luftraum C, woraus sich eine maximal mögliche Flughöhe von 7.500 ft ergab. Im Rahmen der NOTAM D3911/19 wurde diese Genehmigung zunächst für den Zeitraum vom 23.09. bis 27.09.2019 von der DFS für alle Luftverkehrsteilnehmer veröffentlicht. Diese Genehmigung der DFS beinhaltet die Auflage, vor jedem Aufstieg die zu diesem Zeitpunkt maximal zulässige Flughöhe beim zuständigen Supervisor in Bremen telefonisch anzufragen. Dies kann dazu führen, dass sich die tatsächliche Höhenfreigabe von der grundsätzlichen Genehmigung unterscheidet und tagesaktuell nur Flughöhen deutlich unter den genehmigten 7.500 ft freigegeben werden.

### 3.1. Abschließende Höhentests

Im Zeitraum vom 23.09.2019 bis 02.10.2019 wurden mehrere Flugversuche, mit und ohne Begleitflugzeug, durchgeführt. Hierbei wurde das für die Höhentests am Flugplatz Schönhagen erarbeitete Konzept auf die Höhenfreigabe von 7.500 ft angepasst und für die anstehenden Flugversuche übernommen. Zunächst wurden Überprüfungsflüge bis 1.000 ft und

<sup>5</sup> engl. „First Person View“

Rendezvousflüge mit dem Begleitflugzeug erfolgreich absolviert.

Bedingt durch das lokale Wetter sowie das erhöhte Luftverkehrsaufkommen im Umfeld des Sonderlandeplatzes „Altes Lager“ innerhalb der Woche vom 23.09. bis 27.09.2019 wurde durch die DFS keine Freigabe für Aufstiege bis auf 7.500 ft erteilt. So konnten innerhalb des genannten Zeitraums nur Flüge bis auf maximal 3.280 ft (1.000 m) durchgeführt werden (siehe BILD 5).

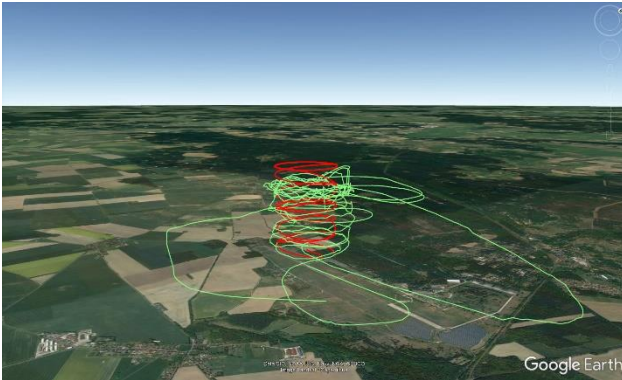


BILD 5. Flugpfade von Messdrohne (rot) und Begleitflugzeug (grün) beim Höhentest bis 3.280 ft

Um die Höhentests bis auf 7.500 ft realisieren zu können, wurde die NOTAM auf Antrag der TH Wildau um eine weitere Woche verlängert. Durch die vorherrschenden Witterungsverhältnisse waren am 30.09. sowie am 01.10. keine weiteren Testflüge möglich. Trotz ungünstiger Windverhältnisse konnten am 02.10.2019 mit Freigabe der DFS die Höhentests bis auf die Zielflughöhe von 7.500 ft durchgeführt werden. Die an diesem Tag vorherrschende Witterung kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Bewölkung: heiter 2/8
- Temperatur am Boden: 13° C
- Wind: 5 bft (29-38 km/h) SW, Böen 6-7 bft (39-61 km/h)
- Thermik: schwach bis mäßig

Die vorherrschenden Windgeschwindigkeiten von bis zu 38 km/h sowie Böen bis 61 km/h sind in Relation zur Zielgeschwindigkeit der Messdrohne von 61 km/h, insbesondere in Bezug auf die Einhaltung der helikalen Flugbahn durch den Autopiloten und die manuell gesteuerte Satellitenbahn des Begleitflugzeuges, als erhebliche Erschwernis einzustufen. Resultierend aus diesen Windverhältnissen wurden daher die Flugparameter der Messdrohne angepasst. Aus Sicherheitsgründen wurden die Fluggeschwindigkeit von 17 m/s auf 22 m/s angehoben und die gewünschte Steiggeschwindigkeit von 3,6 m/s auf 2,5 m/s reduziert. Somit konnte zwar nicht mit der effizientesten Flug- und Steiggeschwindigkeit geflogen, aber ungünstige Fluglagen in Folge Wind oder Böen vermieden werden.

Der abschließende Höhentest wurde schrittweise durchgeführt. Beginnend mit einem Rendezvousmanöver in 1.000 ft Höhe, wurde die Zielflughöhe der Messdrohne in jeweils 1.000 ft Schritten angehoben und an den Autopiloten kommandiert. Dabei wurde fortlaufend der Flugzustand der Messdrohne sowohl durch den Bediener Bodenstation, als auch durch den Sicherheitspiloten an

Bord des Begleitflugzeuges kontrolliert und fortwährend die weiteren Maßnahmen per Funk kommuniziert. Die Zielflughöhe von 7.500 ft konnte hierbei erfolgreich erfliegen werden (siehe BILD 6). Der anschließende Sinkflug erfolgte größtenteils im Segelflug. Die dargestellten Flugbahnen zeigen deutlich, dass der Autopilot trotz der äußerst ungünstigen Randbedingungen eine sehr präzise Soll-Flugbahn (rot) einhalten kann.

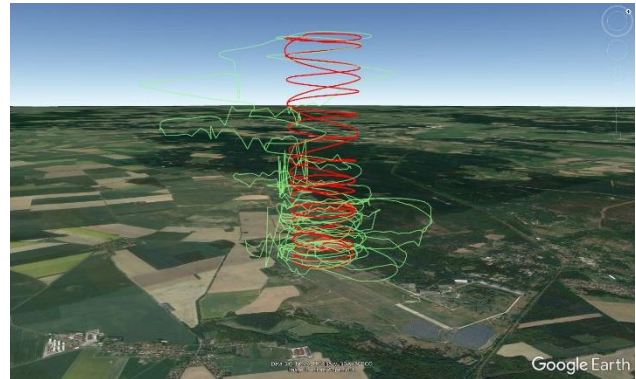


BILD 6. Flugpfade von Messdrohne (rot) und Begleitflugzeug (grün) beim Höhentest bis 7.500 ft

Die Flugzeit des abschließenden Höhenflugs betrug einschließlich der Horizontalflugabschnitte rund 35 Minuten. Aus der Auswertung der Logdaten ergab sich bei einer mittleren Leistungsaufnahme der Steigflüge von 860 W pro Antriebsstrang, eine benötigte Akku-Ladung von 2.150 mAh pro 1.000 m Höhengewinn. Unter Berücksichtigung der eingesetzten Akkumulatoren ergab sich hieraus eine mögliche Gipfelhöhe von 5.600 m. Berücksichtigt man die ungünstigen Windverhältnisse und die daraufhin beschlossene, vom Optimum abweichende Steig- sowie Fluggeschwindigkeit, kann festgehalten werden, dass die angestrebten Aufstiege einschließlich horizontalen Messflügen in 5.000 m Höhe auch bei nicht optimalen atmosphärischen Bedingungen umsetzbar sind.

#### Kontaktadresse:

Web: [www.th-wildau.de/fg-It/](http://www.th-wildau.de/fg-It/)