Summarischer Bericht

Bezüglich des vorliegenden Unfalls wurde eine summarische Untersuchung gemäss Artikel 46 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014 (VSZV), Stand am 1. Februar 2015 (SR *742.161*) durchgeführt. Dieser Bericht wurde mit dem Ziel erstellt, dass aus dem vorliegenden Zwischenfall etwas gelernt werden kann.

Luftfahrzeugmuster	Kitfox 6 (Eigenbau)			HB-YLH
Halter	Privat			
Eigentümer	Privat			
Pilot	Schweizer Staatsangehöriger, Jahrgang 1956			
Ausweis	Privatpilotenlizenz für Flugzeuge (*Private Pilot Licence Aeroplane* – PPL(A)) nach der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)			
Flugstunden	**insgesamt**	959:21 h	**während der letzten 90 Tage**	11:48 h
	auf dem Vorfallmuster	ca. 270 h	**während der letzten 90 Tage**	11:48 h
Ort	Flugplatz Grenchen (LSZG)			
Koordinaten	---		**Höhe**	---
Datum und Zeit	18. September 2020, 11:33 Uhr (LT[1] = UTC[2] + 2 h)			
Betriebsart	Privat			
Flugregeln	Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR)			
Startort	Flugplatz Grenchen (LSZG)			
Zielort	Flugplatz Bad Ragaz (LSZE)			
Flugphase	Start und Steigflug			
Art des schweren Vorfalls	Kontrollverlust nach Leistungsverlust			

Personenschaden	**Besatzungsmitglieder**	**Passagiere**	**Drittpersonen**
Leicht verletzt	1	0	0
Nicht verletzt	0	0	0

Schaden am Luftfahrzeug	schwer beschädigt
Drittschaden	Keiner

[1] LT: *Local Time*, Normalzeit

[2] UTC: *Universal Time Coordinated*, koordinierte Weltzeit

Sachverhalt

Allgemeines

Für die Beschreibung des Flugverlaufes standen die Angaben des Piloten, die Aufzeichnungsdaten des Kollisionswarngerätes Flarm sowie Videoaufnahmen der Webcam des Flugplatzes Grenchen zur Verfügung.

Vorgeschichte

Der Pilot der Kitfox 6 mit dem Eintragungszeichen HB-YLH war seit dem Sommer 2018 Halter und Eigentümer des Eigenbauflugzeuges. Er flog damit bis zum Unfallzeitpunkt rund 270 Stunden und hatte das Flugzeug auf dem Flugplatz Bad Ragaz (LSZE) stationiert.

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) führte am 2. Juli 2020 eine periodische Überprüfung der Lufttüchtigkeit der HB-YLH durch. Dabei stellte der Prüfer fest, dass das Auswechseln der Betriebsstoffschläuche am Motor seit etwas mehr als sieben Monate überfällig war. Da dieser Befund als sicherheitsrelevant eingestuft wurde, war der Betrieb des Flugzeuges per sofort bis zur Behebung dieser Beanstandung untersagt. Um die erforderlichen Instandhaltungsarbeiten ausführen lassen zu können, erhielt der Pilot vom BAZL eine Fluggenehmigung für einen einzelnen Flug nach Mollis (LSZM), wo die Arbeiten im Rahmen einer 5-Jahresinspektion des Flugzeuges erledigt wurden.

Am 7. August 2020 flog der Pilot die HB-YLH von Mollis zurück nach Bad Ragaz. Während des Starts stellte der Pilot für ein bis zwei Sekunden auffällige Vibrationen am Motor fest, die nach der Reduktion der Motordrehzahl nachliessen, weshalb er zu seinem Heimflugplatz weiterflog. In den nachfolgenden rund zwei Wochen führte er fünf Flüge mit der HB-YLH durch, bei denen ihm schien, dass der Motor bei hohen Motorleistungen unruhiger als üblich lief.

Daher wollte der Pilot die im Oktober anstehende Jahresinspektion nutzen, um den Motor durch einen Instandhaltungsbetrieb auf dem Flugplatz Grenchen (LSZG) überprüfen zu lassen. Er flog deshalb am 4. September 2020 die HB-YLH nach Grenchen. Nach der Inspektion und der Ausführung von diversen Instandhaltungsarbeiten am Motor gab der Instandhaltungsbetrieb am 14. September 2020 die HB-YLH wieder zum Flugbetrieb frei.

Der Pilot traf am 18. September 2020 um 11 Uhr beim Instandhaltungsbetrieb in Grenchen ein mit der Absicht, das Flugzeug zurück nach Bad Ragaz zu fliegen. Vor der Übernahme des Flugzeuges führte er zusammen mit einem Luftfahrzeugmechaniker einen Standlauf des Motors durch, bei dem keine Anomalien festgestellt wurden. Anschliessend setzte er sich ins Flugzeug, startete den Motor und führte auf dem Vorfeld anhand der Checkliste unter anderem einen Motorprüflauf (*run up*) aus, der keine Auffälligkeiten zeigte. Eine Abflugbesprechung (*departure briefing*) führte er nicht aus. Dann rollte er zum Rollhaltepunkt A der Hartbelagpiste 06.

Flugverlauf

Um 11:32 Uhr des 18. September 2020 begann das Eigenbauflugzeug Kitfox 6, eingetragen als HB-YLH, mit dem Startlauf auf der Piste 06 in Grenchen. Es herrschten sonnige Wetterverhältnisse mit schwachem Wind aus Osten. Das Flugzeug beschleunigte und hob nach rund 120 m Rollstrecke von der Piste ab (vgl. Abbildung 1). Während des initialen Steigfluges sah der Pilot an der Kraftstoff-Durchflussanzeige einen Wert von 24 Litern pro Stunde und verspürte plötzlich einen Leistungsverlust des Motors, ohne dass es dafür weitere Anzeichen wie Vibrationen oder einen Knall gegeben hätte. Er teilte dies auf der Flugplatzfunkfrequenz mit.

In dieser Phase flog die HB-YLH auf annähernd gleichbleibender Flughöhe von rund 20 m über Grund entlang der Pistenachse, ohne dass das Flugzeug an Geschwindigkeit gewann, und drehte dann auf Höhe des Rollweges D nach rechts ab (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2). Der Pilot gab an, dass er nicht habe geradeaus weiterfliegen wollen, um nicht im vorausliegenden Fluss zu landen. Während dieser Umkehrkurve stürzte das Flugzeug aus geringer Höhe auf einen Acker ab und wurde dabei schwer beschädigt. Es brach kein Feuer aus.

Der Pilot konnte die HB-YLH mit leichten Verletzungen selbstständig verlassen.

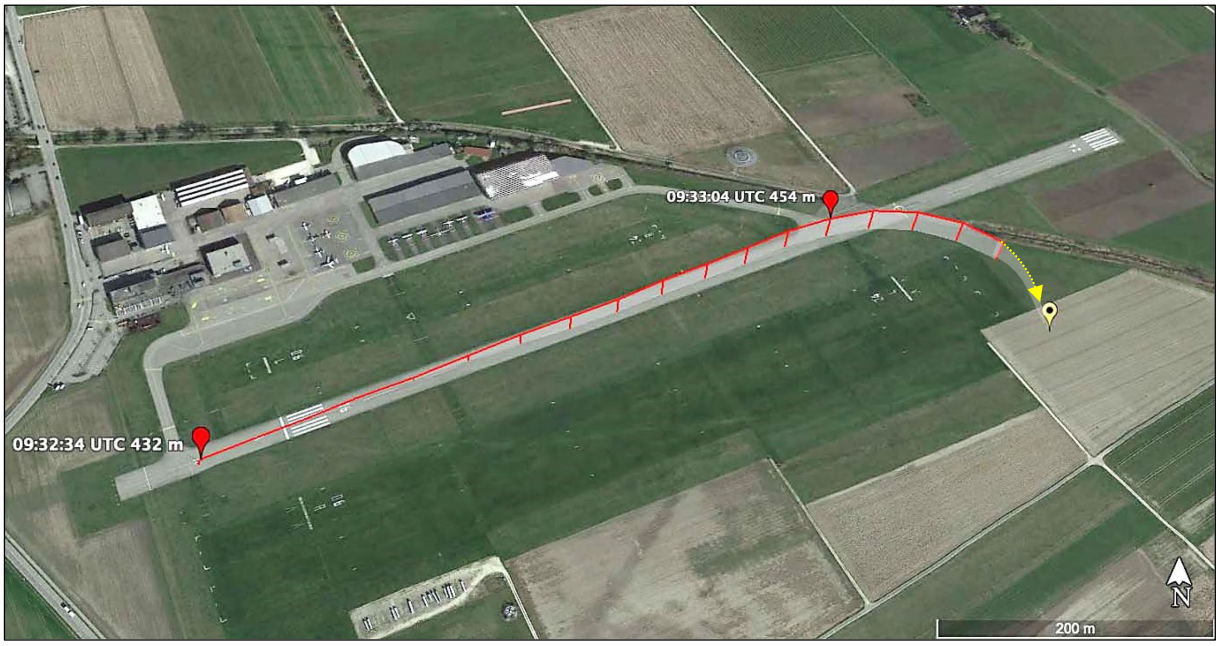

Abbildung 1: Flugweg der HB-YLH vom Beginn des Startlaufes an (Zeitpunkt 09:32:34 UTC, Höhe 432 m/M), basierend auf den Aufzeichnungsdaten des Flarm (rote Linie), sowie Endlage des Flugzeuges (gelbe Boje), dargestellt in google earth.

Abbildung 2: Flug der HB-YLH bis zum Aufschlag auf dem Acker, Blickrichtung nach Osten. Quelle der Videosequenz: Webcam Flugplatz Grenchen.

Das Treibstoff-Absperrventil in der Mittelkonsole sowie die Absperrventile der beiden Flügeltanks wurden von einem Mitglied des zuerst am Flugzeugwrack eintreffenden Rettungsteams in die geschlossene Stellung gebracht.

Auf der Unfallstelle ergaben sich am Wrack folgende Befunde:

- Landeklappen in der Stellung 5°;
- Trimmung in der Stellung für den Start «*take off*»;
- Propeller in der kleinsten Steigung für eine hohe Drehzahl;
- Beide Vergaser mit Treibstoff gefüllt;
- 20 l Treibstoff im linken Flügeltank, 25 l im rechten Flügeltank.

Angaben zum Flugzeug

Das Eigenbauflugzeug HB-YLH war am 3. Juli 2008 nach 8 Jahren Bauzeit vom BAZL zum Flugbetrieb freigegeben worden. Der eingebaute Motor des Musters Rotax 912 ULS mit der Werknummer 4426972 wurde im Jahr 2001 hergestellt und anschliessend beim Eigentümer gelagert, bis er den Motor im März 2008 im Flugzeug installierte. Beim elektrisch verstellbaren Dreiblatt-Propeller handelte es sich um das Baumuster SR2000 von Woodcomp. Das Flugzeug war mit demselben Motor während rund 725 Stunden in Betrieb.

Luftfahrzeugflughandbuch

Gemäss Luftfahrzeugflughandbuch (*Aircraft Flight Manual* – AFM) durfte die HB-YLH mit unverbleitem Autobenzin (*Motor Gasoline* – MOGAS) mit einer Oktanzahl von minimal 95 ROZ[3] oder mit Flugbenzin (*Aviation Gasoline* – AVGAS) betrieben werden. Der Pilot verwendete gemäss seinen Angaben ausschliesslich MOGAS.

Ein Start erfolgt gemäss AFM mit eingefahrenen Landeklappen. Die angezeigte Geschwindigkeit im Steigflug für den besten Steigwinkel (v_x) beträgt 56 MPH (*Miles per Hour*, Meilen pro Stunde) und für die beste Steigrate (v_y) 65 MPH. Die Mindestfluggeschwindigkeit mit eingefahrenen Landeklappen liegt bei 42 MPH. Das beste Gleiten bei ausgefallenem Motor wird bei 65 MPH und mit eingefahrenen Landeklappen erzielt.

Gemäss den im AFM aufgeführten Notverfahren ist bei einem Motorausfall unter anderem folgendes zu beachten (übersetzt aus dem Englischen): *«In den meisten Fällen sollte die Landung geradeaus geplant werden, mit nur kleinen Richtungsänderungen, um Hindernissen auszuweichen. Höhe und Fluggeschwindigkeit reichen selten aus, um eine 180°-Gleitflugkurve auszuführen, die notwendig ist, um zur Landebahn zurückzukehren (ausserdem würde man mit Rückenwind und gegen den Verkehr landen).»*

Instandhaltungsarbeiten

Die periodischen Instandhaltungsarbeiten an der HB-YLH waren seit der Inbetriebnahme im Jahr 2008 immer bei Instandhaltungsbetrieben ausgeführt worden, mit Ausnahme einer 100 h - / Jahresinspektion, die im November 2017 der damalige Vorbesitzer des Flugzeuges selber vornahm. An der Zelle und am Motor wurden durch die früheren Flugzeugeigentümer diverse Modifikationen implementiert.

Seit dem 15. Juli 2020 erfolgte die Wartung des Motors und des Propellers der HB-YLH gemäss der sogenannten zustandsabhängigen Wartung (*On Condition Maintenance* – OCM[4]).

Die letzten Instandhaltungsarbeiten vor dem Unfall wurden bei 724:48 Betriebsstunden am 14. September 2020 im Rahmen einer 100 h - / Jahresinspektion bescheinigt.

Technische Untersuchung

Aus der technischen Untersuchung des Treibstoffsystems, des Motors und des Propellers ergaben sich die folgenden Befunde:

- Beim Brandschott waren motorenseitig die beiden Treibstoffschläuche (Zulauf zur elektrischen Treibstoffpumpe und Rücklauf zum *header tank*) vertauscht montiert (vgl. Abbildung 3, rote Pfeile).

[3] ROZ: Research-Oktanzahl, Kennzahl für die Klopffestigkeit bei Kraftstoffen für Verbrennungsmotoren

[4] Seit 2019 können Eigenbauflugzeuge in der Schweiz gemäss OCM gewartet werden. Dadurch entfallen die Limiten bezüglich der Betriebsstunden oder der kalendarischen Laufzeiten bis zur nächsten Grundüberholung (*Time between Overhaul* – TBO).

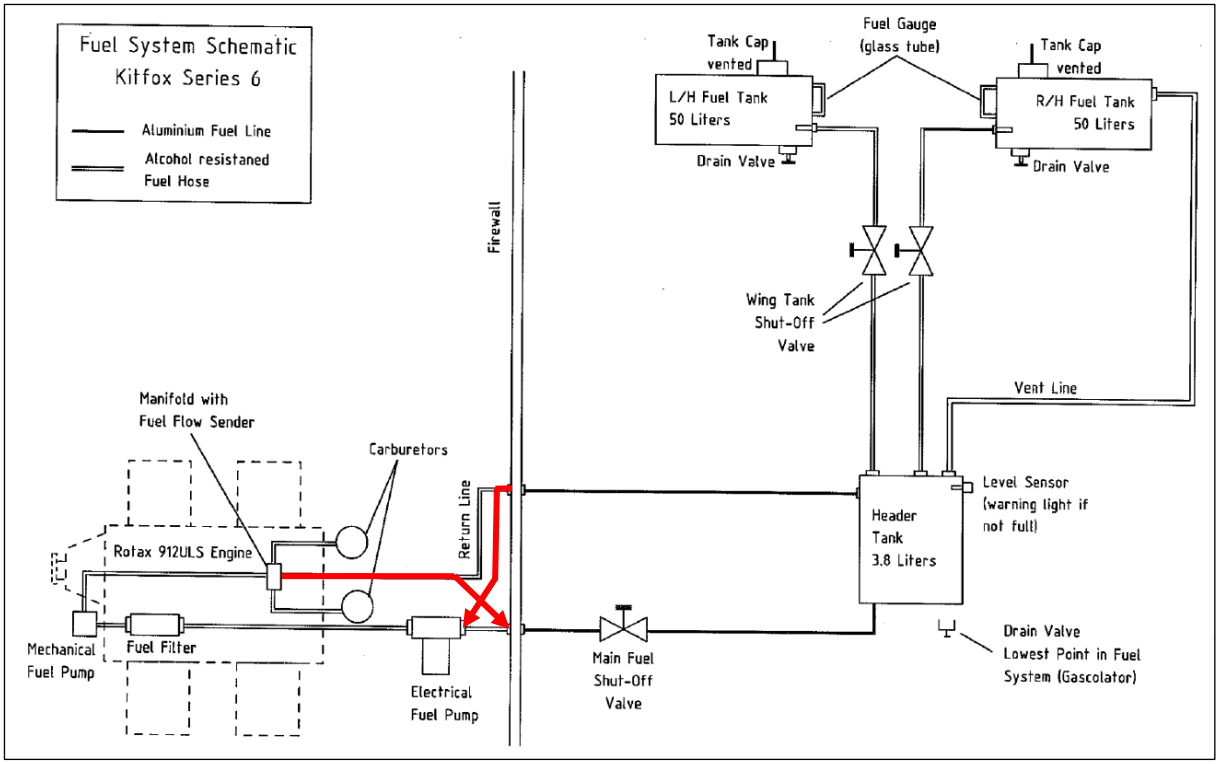

Abbildung 3: Schema des Treibstoffsystems der Kitfox 6 (Quelle: AFM) mit den beiden Treibstoffleitungen (rote Pfeile), die beim Brandschott motorenseitig vertauscht montiert waren. Die Pfeilrichtungen kennzeichnen den daraus resultierenden Treibstofffluss.

- Zwei Treibstoffschläuche beim Kraftstoffverteiler waren mit zu geringem Biegeradius resp. mit einem Knick montiert (vgl. Abbildung 4). Im Datenblatt dieser Treibstoffschläuche gibt der Hersteller einen minimalen Biegeradius von 65 mm an, um eine Querschnittverengung des Schlauches zu verhindern.

  Ein Versuch mit eingeschalteter elektrischer Treibstoffpumpe zeigte, dass bereits eine minimale Verringerung des Radius der Treibstoffleitung A, beispielsweise durch leichtes Ziehen an dieser Treibstoffleitung, ausreichte, um den ursprünglichen Treibstoffdurchfluss von 50 l/h auf unter 20 l/h zu reduzieren.

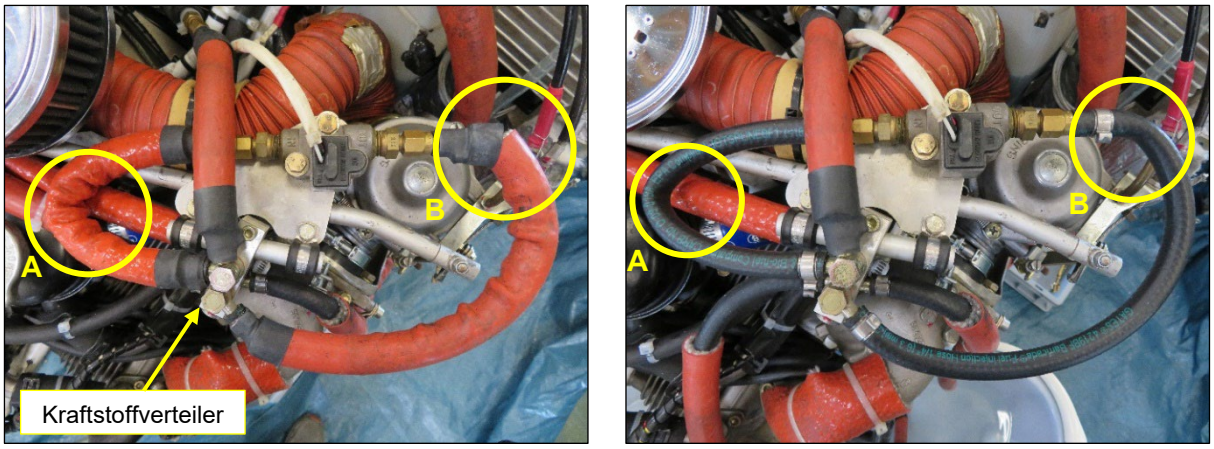

Abbildung 4: Treibstoffschläuche beim Kraftstoffverteiler, die mit zu geringem Radius resp. mit einem Knick montiert waren (gelbe Kreise, Bereiche A und B); links im Originalzustand und rechts ohne Flammschutzhüllen, die von der SUST entfernt wurden.

- Durch das Ablassventil konnten aus dem *header tank* 3.8 l Treibstoff entnommen werden.

- Die oberen und unteren Zündkerzen der Zylinder Nr. 1 und Nr. 3 (rechte Motorseite) waren stark verrusst. Die Zündkerzen der Zylinder Nr. 2 und Nr. 4 (linke Motorseite) zeigten ein normales Bild.
- Anhand des Spurenbildes an den Propellerblättern liess sich schlussfolgern, dass sich der Propeller zum Zeitpunkt des Aufpralls am Boden nicht mehr gedreht hat.

Am Instrumentenbrett war ein Ring angebracht, mit dem sich die Chokes der beiden Vergaser betätigen liessen (vgl. Abbildung 5). Ein am Ring frei bewegliches, durchgehendes Drahtseil führte als Bowdenzug zu den Chokes der beiden Vergaser. Mit Ziehen am Ring gingen beide Chokes in die geöffnete Stellung. Nach Loslassen des Rings wurden die beiden Chokes mittels einer Zugfeder am Vergaser wieder in die geschlossene Position gebracht.

Abbildung 5: Ring am Instrumentenbrett mit dem frei beweglichen Bowdenzug-Drahtseil (rote Pfeile) zum Betätigen der beiden Chokes.

Diese Konstruktionsweise kann dazu führen, dass bei Ziehen des Betätigungsrings die beiden Chokes nicht synchron öffnen. Bei losgelassenem Betätigungsring lässt sich zudem nicht überprüfen, ob sich beide Chokes wieder in der vollständig geschlossenen Position befinden. Bei der HB-YLH zeigte sich, dass die Chokes nach Loslassen des Betätigungsrings zum Teil nicht mehr in die vollständig geschlossene Position gingen.

Auswertung der Flugwegdaten

Aus einem Vergleich der Flugwegdaten des Startverlaufs beim Unfallflug am 18. September 2020 mit den Flugwegdaten des vorhergehenden Fluges am 4. September 2020 (vgl. Abbildung 6) kann folgendes geschlossen werden:

- Beim Unfallflug gab der Motor während der Beschleunigung auf der Piste eine in dieser Phase übliche Leistung ab.
- Kurz nach dem Abheben erlitt der Motor einen teilweisen Leistungsverlust. Die Motorleistung reichte aber während der nachfolgenden 15 Sekunden für einen Horizontalflug mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit aus. Bei einem vollständigen Leistungsverlust wäre ein solcher Horizontalflug nicht möglich gewesen.
- Anschliessend reichte die Motorleistung nicht mehr aus, um sowohl Fluggeschwindigkeit wie Flughöhe beizubehalten. Zu diesem Zeitpunkt (t = 30 s) leitete der Pilot die Rechtskurve ein.

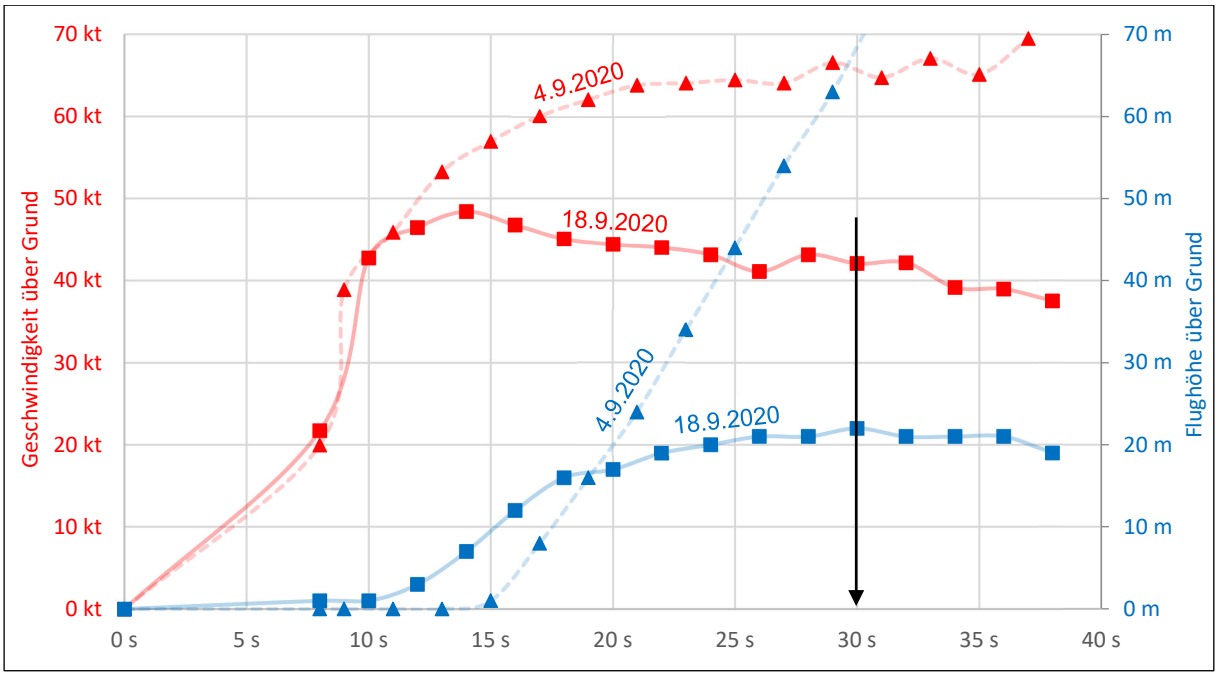

Abbildung 6: Zeitabhängiger Verlauf von Geschwindigkeit[5] (rot) und Flughöhe über Grund (blau) während des Startes am 18. September 2020 (Quadrate) und beim Flug am 4. September 2020 (Dreiecke) gemäss Datenpunkten des Flarm. Die Zeit t = 0 s entspricht dem Beginn des Startlaufes um 09:32:34 UTC (vgl. Abbildung 1). Die Rechtskurve wurde zum Zeitpunkt t = 30 s (09:33:04 UTC) eingeleitet (schwarzer Pfeil). Die Aufzeichnung endet zum Zeitpunkt t = 38 s (09:33:12 UTC).

Analyse

Betriebliche Aspekte

Der Pilot nahm den Leistungsverlust des Motors kurz nach dem Abheben wahr und meldete dies auf der Flugplatzfrequenz. Er steuerte das Flugzeug in dieser Phase für rund 15 Sekunden bei gleichbleibender Geschwindigkeit und konstanter Höhe entlang der Pistenachse geradeaus weiter. In dieser Zeitspanne muss für ihn offenkundig geworden sein, dass das Flugzeug weder Höhe noch Geschwindigkeit aufzubauen vermochte und deshalb eine Notlandung unausweichlich wurde.

Der nachfolgende Entscheid, aus dieser Position eine Umkehrkurve zurück zum Flugplatz zu fliegen, war mit hohen Risiken verbunden und ursächlich für die Entstehung des Unfalls: Das Flugzeug unterschritt während der enger werdenden Umkehrkurve die Mindestfluggeschwindigkeit, erlitt einen Strömungsabriss und stürzte aus geringer Höhe über Grund ab.

Eine derartige Umkehrkurve nach einem Leistungsverlust des Motors während der initialen Steigflugphase ist auch als *«the impossible turn»* (die unmögliche Kurve) bekannt. Insbesondere bei einem Motorausfall oder Leistungsverlust in geringer Höhe, ist ein Geradeausflug mit Notlandung auch in unwegsamem Gelände in der Regel sicherer, als eine Umkehrkurve mit dem erhöhten Risiko eines Strömungsabrisses auszuführen.

Um auf eine derartige Notsituation vorbereitet zu sein, eignet sich ein Briefing vor dem Start zur Festlegung von vorgefassten Entschlüssen. Dabei wird unter anderem mental eine Flughöhe festgelegt, unterhalb der in keinem Fall eine Umkehrkurve in Richtung Flugplatz eingeleitet, sondern strikt in Startrichtung weitergeflogen und im ungünstigsten Fall im Gelände notgelandet wird.

[5] Beim Start am 4. September 2020 betrug die Rückenwindkomponente rund 5 kt, beim Unfallflug am 18. September 2020 herrschte eine Gegenwindkomponente von etwa 5 kt.

Technische Aspekte

Beim Kraftstoffverteiler zu den Vergasern waren zwei Treibstoffschläuche mit einem zu geringen Radius resp. einem Knick montiert, so dass der Schlauchquerschnitt in diesem Bereich deutlich reduziert war. Durch eine Querschnittsverengung bei einer Treibstoffleitung kommt es zu einer Abnahme des Treibstoffdruckes, was zur Bildung von Dampfblasen führen kann. Im vorliegenden Fall wurde eine Dampfblasenbildung durch die Verwendung des Treibstoffes MOGAS begünstigt.

Zudem waren die Treibstoffschläuche am Brandschott motorenseitig vertauscht montiert: Der Treibstoff, der über die elektrische Pumpe den Vergasern zugeführt wurde, kam nicht vom unteren Anschluss des *header tank*, sondern entstammte dem oberen Anschluss, der per Design für die Rückleitung des Treibstoffs (*fuel return*) gedacht ist (vgl. Abbildung 3). Dies führte zu einem reduzierten Treibstoffdruck in der Zuleitung zur Treibstoffpumpe, was eine Dampfblasenbildung zusätzlich begünstigte.

Bei Dampfblasenbildung ist mit einem rauen Lauf des Motors, Vibrationen und Stottern bis hin zu einem kompletten Motorausfall zu rechnen. Ein solcher Leistungsverlust kann aber auch auftreten, ohne dass dies aufgrund der Motorgeräusche erkennbar wäre.

Die erstmals aufgetretenen Vibrationen beim Start in Mollis sowie die Auffälligkeiten am Motor bei den weiteren Flügen inklusive dem Unfallflug können aus obengenannten Gründen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine solche Dampfblasenbildung zurückgeführt werden. Bei einem im Jahr 2013 verunfallten Flugzeug mit baugleichem Rotax-Motor (vgl. Schlussbericht Nr. 2253) trat nach dem Start ein Leistungsverlust auf, der sich sehr ähnlich manifestierte wie im vorliegenden Fall. Der Leistungsverlust konnte damals eindeutig auf eine unzureichende Kraftstoffversorgung aufgrund Dampfblasenbildung zurückgeführt werden.

Die stark verrussten Zündkerzen der Zylinder Nr. 1 und Nr. 3 deuten auf ein zu fettes Treibstoff-Luft-Gemisch beim rechten Vergaser hin. Da bei der Untersuchung der beiden Vergaser keine Anomalien festgestellt wurden und alle Einstellungen korrekt waren, lässt sich dies nur damit erklären, dass sich der Choke des rechten Vergasers zumindest zeitweise in geöffneter Stellung befand. Die Konstruktionsweise der Ansteuerung der Chokes mittels Betätigungsring und Bowdenzügen lässt eine solche asymmetrische Ansteuerung zu, was technisch wenig sinnvoll ist. Wie aber Angaben des Herstellers und Flugversuche zeigten, hätte ein teilweise geöffneter Choke, wenn überhaupt, die Motorleistung nur geringfügig beeinflusst.

Es liess sich nicht abschliessend klären, zu welchem Zeitpunkt die beiden Treibstoffschläuche mit zu geringem Radius montiert worden waren. Ausserdem liess sich nicht nachvollziehen, wann die Treibstoffschläuche am Brandschott motorenseitig vertauscht installiert worden waren. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ein Luftfahrzeug der Sonderkategorie, Unterkategorie Eigenbau, um das es sich bei der HB-YLH handelte, nicht den international anerkannten Lufttüchtigkeitsanforderungen entspricht und die Nachweisführung für die Erfüllung der Lufttüchtigkeitsanforderungen einzig in Anlehnung an die Verfahren erfolgt, die für Luftfahrzeuge der Standardkategorie gültig sind. Die Nachweisführung kann vereinfacht durchgeführt werden und Bauunterlagen betreffend Bauausführung und verwendete Materialien fallen in der Regel deutlich weniger detailliert und umfangreich aus, wie dies bei Luftfahrzeugen der Standardkategorie üblich ist.[6]

[6] Diesbezügliche Informationen sind im Anhang 4 der Verordnung des UVEK über die Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen (SR 748.215.1), Lufttüchtigkeitsanforderungen, allgemeine Betriebsauflagen und Beschriftungsvorschriften für Luftfahrzeuge der Sonderkategorie, Unterkategorie zu finden (Ausgabe 1: 12.06.2015)

Schlussfolgerungen

Der Unfall, bei dem das Flugzeug infolge eines Strömungsabrisses einen Kontrollverlust erlitt und aus geringer Höhe auf den Boden prallte, ist darauf zurückzuführen, dass der Pilot kurz nach dem Start in tiefer Höhe eine Umkehrkurve flog, nachdem der Motor an Leistung verloren hatte.

Der Leistungsverlust des Motors lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Dampfblasenbildung im Treibstoffsystem zurückführen. Die Dampfblasenbildung wurde begünstigt durch zwei Treibstoffschläuche, die mit zu geringem Radius resp. mit einem Knick verbaut waren und deshalb eine Querschnittsverengung aufwiesen, sowie der am Brandschott vertauscht montierten Treibstoffschläuche für die Zuleitung resp. Rückführung der Treibstoffversorgung.

Bern, 16. März 2023 Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle