



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISl
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Bereich Aviatik

Schlussbericht Nr. 2247 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über den Unfall des Segelflugzeuges
DG-1000S, HB-3410,

vom 3. August 2013

in der Nähe des Flugfeldes Kägiswil,
Sarnen/OW

Cause

L'accident est dû à une collision avec des obstacles en phase finale d'approche en raison du blocage des aérofreins en position sortie.

Le montage incorrect d'un embout de rotule de la commande des aérofreins qui par la suite n'a pas résisté à la contrainte a été identifié comme étant la cause de la défaillance des aérofreins.

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht enthält die Schlussfolgerungen der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) über die Umstände und Ursachen des vorliegend untersuchten Unfalls.

Gemäss Art. 3.1 der 10. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 18. November 2010, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Art. 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Die rechtliche Würdigung der Umstände und Ursachen von Flugunfällen und schweren Vorfällen ist ausdrücklich nicht Gegenstand der Flugunfalluntersuchung. Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, ein Verschulden festzustellen oder Haftungsfragen zu klären.

Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand gebührend Rechnung zu tragen.

Alle Angaben beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf den Zeitpunkt des Unfalls.

Alle in diesem Bericht erwähnten Zeiten sind, soweit nicht anders vermerkt, in der für das Gebiet der Schweiz gültigen Normalzeit (*local time* – LT) angegeben, die zum Unfallzeitpunkt der mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ) entsprach. Die Beziehung zwischen LT, MESZ und koordinierter Weltzeit (*coordinated universal time* – UTC) lautet:

LT = MESZ = UTC + 2 h.

Schlussbericht

Luftfahrzeugmuster	DG-1000S	HB-3410
Halter	Segelfluggruppe Obwalden, Sarnen	
Eigentümer	Segelfluggruppe Obwalden, Sarnen	

Fluglehrer	Schweizer Staatsangehöriger, Jahrgang 1984		
Ausweis	Segelfluglizenz (<i>glider</i>) nach den Richtlinien der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (<i>International Civil Aviation Organisation</i> – ICAO), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL).		

Wesentliche Berechtigungen	Kunstflug und Passagierflug Segelfluglehrer
-----------------------------------	--

Medizinisches Tauglichkeitszeugnis	Klasse 2, ohne Einschränkungen
---	--------------------------------

Flugstunden	insgesamt	503:35 h	während der letzten 90 Tage	51:41 h
	auf dem Unfallmuster	63:38 h	während der letzten 90 Tage	5:49 h

Flugschüler	Schweizer Staatsangehöriger, Jahrgang 1982
--------------------	--

Ausweis	Keiner
----------------	--------

Wesentliche Berechtigungen	Keine
-----------------------------------	-------

Medizinisches Tauglichkeitszeugnis	Klasse 2, ohne Einschränkungen
---	--------------------------------

Flugstunden	insgesamt	14:31 h	während der letzten 90 Tage	4:52 h
	auf dem Unfallmuster	0:31 h	während der letzten 90 Tage	0:31 h

Ort	In der Nähe des Flugfeldes Kägiswil, Sarnen/OW
------------	--

Koordinaten	661 905 / 195 000	Höhe	ca. 470 m/M
--------------------	-------------------	-------------	-------------

Datum und Zeit	3. August 2013, 12:45 Uhr
-----------------------	---------------------------

Betriebsart	VFR, Schulung
--------------------	---------------

Flugphase	Anflug
------------------	--------

Unfallart	Kollision mit Hindernissen
------------------	----------------------------

Personenschaden

Verletzungen	Besatzungs- mitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	0	0	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	2	0	2	0
Keine	0	0	0	Nicht zutreffend
Gesamthaft	2	0	2	0

Schaden am Luftfahrzeug	Zerstört
--------------------------------	----------

Drittsschaden	Leichter Schaden an Hausdächern
----------------------	---------------------------------

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

1.1.1 Allgemeines

Für die Beschreibung von Vorgeschichte und Flugverlauf wurden die Aussagen des Fluglehrers und des Flugschülers sowie Aufzeichnungen des Kollisionswarnsystems FLARM verwendet.

1.1.2 Vorgeschichte

Nach Eintreffen des Fluglehrers und des Flugschülers am Morgen des 3. August 2013 auf dem Flugfeld Kägiswil (LSPG) fand um 9:00 Uhr eine Vorbesprechung (*briefing*) statt. Im Rahmen der Schulung war für den Flugschüler eine Gefahrenweisung mit Trudeln auf dem Segelflugzeugmuster DG-1000S vorgesehen. Der dafür vorgesehene Flug war als zweiter Flug der HB-3410 an jenem Vormittag geplant.

Als der Fluglehrer und der Flugschüler die HB-3410 übernahmen, verzichteten sie deshalb auf eine ausführliche Vorflugkontrolle¹. Im Rahmen der Kontrollen vor dem Start wurde jedoch die übliche Funktionskontrolle der Bremsklappen durchgeführt. Dabei werden die Bremsklappen auf ihre Gängigkeit geprüft und anschliessend für den Start verriegelt.

Es waren keine Einschränkungen technischer Art bekannt.

1.1.3 Flugverlauf

Der Fluglehrer und der Flugschüler starteten auf der Piste 03 mit dem Segelflugzeug DG-1000S, eingetragen als HB-3410, in Kägiswil (LSPG) um 12:14 Uhr zum geplanten Schulungsflug. Der Schleppstart bis zum Zeitpunkt des Ausklinkens auf einer Höhe von rund 2000 m/M² erfolgte ohne besondere Vorkommnisse (vgl. Abbildung 11 in Anlage 1).

Nach einem ereignislosen Flug flog die HB-3410 rund zehn Minuten später auf einer Höhe von rund 960 m/M, also rund 500 m über dem Flugplatz, in den Abkreisraum südlich des Flugplatzes ein (vgl. Abbildung 12 in Anlage 1). Aufgrund lokaler Aufwinde wurden die Bremsklappen halb aus- und kurz daraufhin wieder eingefahren sowie verriegelt. Der Flugschüler steuerte zu diesem Zeitpunkt die HB-3410 und plante eine Landung auf der Piste 03 in Kägiswil mit einem rechten Gegen- und Queranflug. Das Segelflugzeug verliess rund fünf Minuten später den Abkreisraum und der Flugschüler fuhr zur Anpassung des Gleitwinkels um 12:43:17 Uhr die Bremsklappen auf einer Höhe von 680 m/M aus. Ungefähr 40 Sekunden später wollte der Flugschüler im Endanflug (*final*) den Gleitwinkel nochmals anpassen und dazu die Bremsklappen um 12:43:57 Uhr wieder einfahren. Die Geschwindigkeit über Grund³ lag in dieser Flugphase bei rund 100 km/h. Die Gleitzahl über Grund⁴ betrug rund 7. Bei der Betätigung des Bremsklappenhebels durch den Flugschüler nahm er keine Wirkung wahr. Der Fluglehrer hörte bei diesem Einfahrversuch der Bremsklappen ein Scheppern hinter seinem Rücken. Der Bremsklappenhebel liess sich frei bewegen und war offenbar nicht mehr mit den

¹ Mit ausführlicher Kontrolle ist hier die tägliche Kontrolle gemeint, die gemäss Flughandbuch Kapitel 4.3. nach jedem Aufrüsten bzw. an jedem Flugtag vor dem ersten Start vorzunehmen ist.

² Bei den Höhenangaben handelt es sich um korrigierte GPS-Höhen der FLARM-Aufzeichnungen.

³ Die Geschwindigkeiten gegenüber dem Boden wurden aus der Distanz und der Zeitspanne zwischen zwei Wegpunkten errechnet.

⁴ Die Gleitzahl (\square), oft auch Gleitverhältnis genannt, gibt an, wie viele Meter ein Flugzeug in stiller Luft in horizontaler Richtung gleitet, während es einen Meter Flughöhe verliert.

Bremsklappen verbunden. Diese seien zu diesem Zeitpunkt etwa zu zwei Dritteln ausgefahren gewesen. Die Flughöhe betrug rund 520 m/M, also rund 50 m über dem Flugplatz und die Gleitzahl lag ab diesem Zeitpunkt bei ungefähr 13.

Der Fluglehrer übernahm umgehend die Kontrolle über die HB-3410. Nach eigenen Angaben verwarf er aufgrund von Bäumen die Möglichkeit, auf einem „Feld vor Sarnafil“ zu landen, und versuchte stattdessen, das Flugplatzgelände zu erreichen. Der letzte Datenpunkt wurde um 12:44:13 Uhr aufgezeichnet. Die dazugehörige Höhe betrug 484 m/M und die Geschwindigkeit über Grund lag bei rund 90 km/h (vgl. Abbildung 1).

In der Folge kollidierte das Segelflugzeug mit Hausdächern und einem Baum rund 270 m vor der Pistenschwelle, überschlug sich und kam in Rückenlage in der Sarnener Aa zum Stillstand.

Beide Insassen konnten das Wrack leicht verletzt aus eigener Kraft verlassen und ans Ufer waten. Der Flugschüler wurde wegen leichter Übelkeit im Spital untersucht und kurz darauf wieder entlassen.



Abbildung 1: Endanflug gemäss FLARM-Aufzeichnung (rot) mit dem weiss umrandeten Feld vor dem Industriegebäude der Sika Sarnafil AG und hypothetischer, direkter Endanflug auf die Piste 03 ab 12:43:57 Uhr (gelb), eingezeichnet in Google Earth.

1.2 Angaben zum Luftfahrzeug

1.2.1 Allgemeines

Eintragungszeichen	HB-3410
Luftfahrzeugmuster	DG-1000S
Charakteristik	Doppelsitziges Hochleistungssegelflugzeug für Schulung und Leistungssegelflüge sowie für Kunstflugschulung.
Spannweite	18 m
Gleitzahl	ca. 41
Hersteller	DG Flugzeugbau GmbH
Baujahr	2007

Werknummer	10-109S75
Lufttüchtigkeitsgruppe	<i>Utility</i>
Höchstzulässige Lande- und Abflugmasse	Lufttüchtigkeitsgruppe <i>utility</i> : 661 kg ohne Wasserballast
Masse und Schwerpunkt	Masse und Schwerpunkt des Segelflugzeuges lagen zum Unfallzeitpunkt innerhalb des im Luftfahrzeugflughandbuch (<i>aircraft flight manual</i> – AFM) festgelegten Bereichs. <i>Gemäss AFM gilt: „Einfacher Kunstflug ist nur zulässig ohne Wasserballast und wenn die Masse des hinteren Piloten durch Ballast im Ballastkasten in der Seitenflosse [...] ausgeglichen wurde. [...] Stationäres Trudeln ist am besten bei hinteren Schwerpunktlagen möglich.“</i>
Unterhalt	Die letzte Jahreskontrolle wurde am 28. Januar 2013 bei 827 Betriebsstunden seit Herstellung (<i>time since new</i> – TSN) durchgeführt.
Notsender	Automatischer Notsender (<i>emergency locator transmitter</i> – ELT) vom Typ Manual 406 AF-Compact
Zulassungsbereich	VFR bei Tag / Wolkenflug

1.2.1 Bremsklappenbedienung und -steuerung

Sämtliche Bedienelemente sind bei beiden Pilotensitzen im Cockpit vorhanden, so dass sie sowohl vom vorderen als auch vom hinteren Sitz bedient werden können. Damit sie mit der linken Hand betätigt werden können und die rechte Hand bei allen Manövern am Steuerknüppel verbleiben kann, sind die Bedienelemente an der linken Bordwand angebracht.

Zum Aus- und Einfahren der Bremsklappen wird einer der beiden Bremsklappenhebel mittels einer leichten Drehbewegung ins Cockpit geschwenkt, um die Bremsklappensicherung (Pigott-Haken) zu lösen. Wird der Bremsklappenhebel nach hinten gezogen, fahren die Bremsklappen aus; wird der Bremsklappenhebel nach vorne gestossen, fahren die Bremsklappen ein. Dabei bewegen sich im Cockpit der vordere und hintere Bremsklappenhebel simultan, da diese mechanisch gekoppelt sind. Die Manipulation der Bremsklappen kann dadurch von der Besatzung wahrgenommen werden, unabhängig davon, ob die Bremsklappen vom vorderen oder vom hinteren Pilotensitz aus betätigt wurden.

Der hintere Anschlag bei vollständig ausgefahrenen Bremsklappen befindet sich vor dem Hauptspant. Der vordere Anschlag (eingefahren und verriegelt) befindet sich an den Flügelwurzelrippen.

Zwischen der Lenkstange 10St71 und dem Gelenkstangenkopf befindet sich eine frei drehbare M6-Schraubverbindung (vgl. roten Kreis in Abbildung 2). Die Radbremse ist an die Bremsklappenantriebswelle 10St105 angeschlossen.

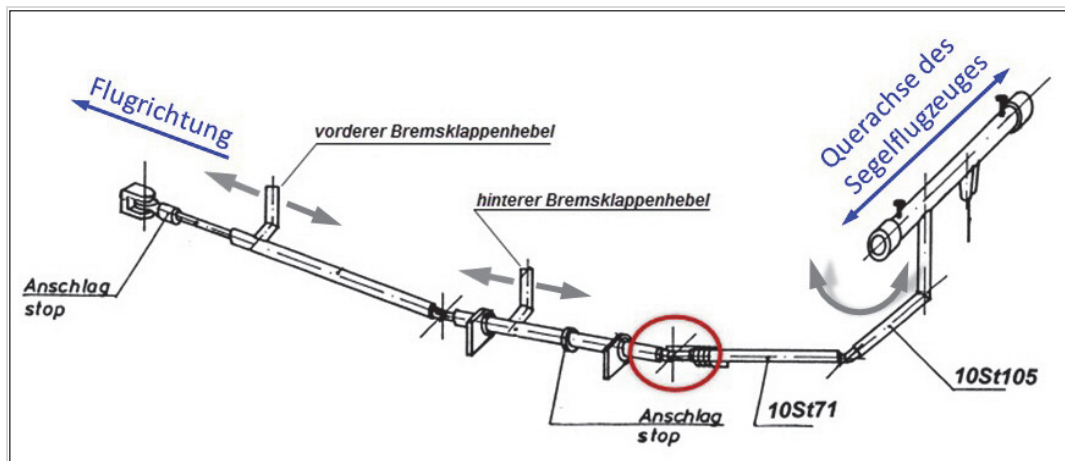


Abbildung 2: Darstellung aus dem Wartungshandbuch (Ausgabe Nov. 2001) der Bremsklappensteuerung innerhalb des Rumpfes der DG-1000S mit einer M6-Schraubverbindung zwischen Lenkstange 10St71 und Gelenkstangenkopf (roter Kreis), angepasst durch die SUST.

Die Lenkstange 10St71 wird nach den Vorgaben des Herstellers von einem Betrieb ohne EASA⁵-Zulassung nach Part 21G hergestellt. Das Bauteil wird aus diesem Grund durch den Flugzeughersteller einer gründlichen Wareneingangskontrolle unterzogen. Erst nach erfolgreicher Kontrolle erhält es die Luftfahrtzulassung. Die Gelenkstangenköpfe sind Standard-Industriebauteile ohne Luftfahrtzulassung und erfahren die gleiche Wareneingangskontrolle wie die Lenkstange 10St71.

Ferner heisst es im Kapitel 1.5.4 des Wartungshandbuchs: „*Spiel in der Bremsklappensteuerung ist unbedenklich [vgl. Anlage 2]. Die Bremsklappen selber dürfen nicht soviel Spiel aufweisen, dass die Schraubenköpfe der Bremsklappenbleche beim Einfahren unter Luftlasten auf dem Flügel aufsitzen können, statt in den Klappkasten einzufahren.*“

1.2.2 Unterhalt und technische Kontrollen

Im Rahmen der 200-Stunden-Kontrolle oder der jährlichen Kontrolle werden die Bremsklappen auf ihre Einfahrtstellung (gemäss Kapitel 4.4.1 des Wartungshandbuchs) inspiziert und dabei werden das Verknüpfungsmoment und der Verknüpfungswinkel gemäss Kapitel 4.4.2 geprüft und bei Bedarf am Flügel eingestellt. Nach Aussage des Flugzeugherstellers gäbe es im Normalfall bei der Wartung keinen Grund, die Bremsklappensteuerung rumpffseitig auseinanderzunehmen.

Im Jahr 2010 kam es mit der HB-3410 zu einer „Bauchlandung“, da das Fahrwerk vor der Landung nicht richtig verriegelt worden war. Die im Anschluss ausgeführten Reparaturarbeiten beschränkten sich auf die Rumpfunterseite des Flugzeuges. Der Unterhaltsbetrieb, bei dem diese Arbeiten durchgeführt wurden, gab ferner an, dass es auch im Rahmen von Jahreskontrollen keinen Anlass gäbe, die Bremsklappensteuerung zu demontieren.

Zu den beiden Jahreskontrollen vom 28. Januar 2012 und 28. Januar 2013 finden sich in den technischen Akten keine Besonderheiten.

⁵ EASA: *European Aviation Safety Agency*, Europäische Agentur für Flugsicherheit

1.3 Angaben über Aufprall, Unfallstelle und Wrack

1.3.1 Aufprall und Unfallstelle

Die erste Kollision erfolgte mit dem linken Flügel am Dachfirst eines Hauses mit den Koordinaten 661 817 / 194 903. Dieses steht im Anflugsektor der Piste 03, rund 270 m südsüdwestlich von der versetzten Pistenschwelle (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 3: Häuser im Anflugsektor auf die Piste 03 von Kägiswil (LSPG), mit denen die HB-3410 kollidierte.

In der Folge kollidierte das Segelflugzeug mit einem zweiten Haus (gelbes Gebäude) rechts davon und dem davorstehenden Baum. Die HB-3410 überschlug sich und fiel in die nördlich verlaufende Sarner Aa.



Abbildung 4: Darstellung der ersten Aufschlagstelle sowie der Endlage des linken Flügels und des Hauptwracks der HB-3410 in Google Earth.

Aufgrund der ersten Kollision wurde der linke Flügel vom Rumpf getrennt und blieb am südlichen Ufer, halb im Wasser, hinter dem dunkelbraunen Haus liegen. Das Hauptwrack wurde von der Strömung noch etwas mitgeschwemmt und blieb am nördlichen Ufer unter den Bäumen hängen (Koordinaten 661 905 / 195 000).



Abbildung 5: Endlage des Hauptwracks der HB-3410 am nördlichen Ufer der Sarner Aa.

1.3.2 Wrack

Nach der Bergung des Wracks wurde festgestellt, dass die M6-Schraubverbindung am Gelenkstangenkopf von der Lenkstange 10St71 ausgerissen war.

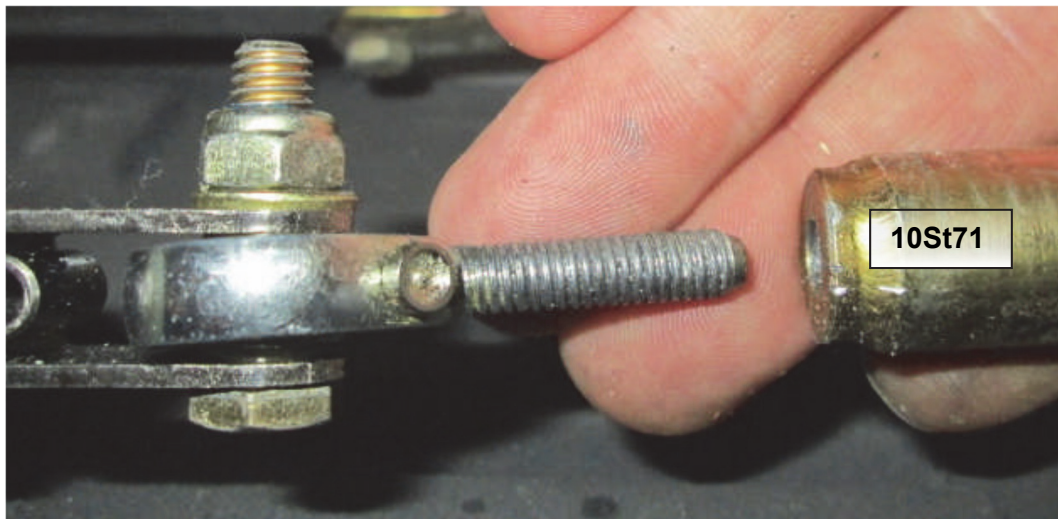


Abbildung 6: M6-Schraubverbindung: herausgerissener Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde.

1.4 Suche und Rettung

Der automatische Notsender (*emergency locator transmitter* – ELT) wurde durch den Aufprall ausgelöst und das entsprechende Signal durch das Rettungs-Koordinationszentrum (*rescue coordination centre* – RCC) empfangen. Der Absturz der HB-3410 wurde auf dem Flugfeld Kägiswil beobachtet. Demzufolge war die Absturzstelle bereits bekannt.

1.5 Meteorologische Angaben

1.5.1 Allgemeine Wetterlage

Die Bodendruckverteilung über der Schweiz war sehr flach. Ein Höhentrog mit einer Kaltfront näherte sich aus Westen. Entsprechend der flachen Druckverteilung und der ungehinderten Einstrahlung waren die Winde sehr schwach und durch thermische Windsysteme dominiert.

1.5.2 Wetter zur Zeit des Unfalls

Die Daten verschiedener lokaler Wetterstationen, eine davon in Sarnen, andere offizielle in Giswil und Alpnach, zeigten zusammen mit der Wetterübersicht von MeteoSchweiz und regionalen Webcams ein einheitliches Bild: Der Vormittag und der frühe Nachmittag bis 15 Uhr waren über der Zentralschweiz mehrheitlich wolkenlos bis schwach bewölkt.

Wolken	0 bis 2/8 Cu
Sicht	ca. 25 km
Wind	20° / 4 kt
Temperatur/Taupunkt	29 °C / 18 °C
Luftdruck (QNH)	1020 hPa
Gefahren	keine

1.5.3 Astronomische Angaben

Sonnenstand	Azimut: 157°	Höhe: 59°
Beleuchtungsverhältnisse	Tag	

1.5.4 Wetter gemäss Augenzeugenberichten

Es war ein warmer, windschwacher bis windstillere Sommertag, bis um ca. 16 Uhr eine Überentwicklung einsetzte und Schauer auftraten. Zum Unfallzeitpunkt herrschte auf der angeflogenen Piste 03 sehr schwacher Gegenwind von maximal 5 kt.

1.6 Vertiefte Abklärungen

1.6.1 Materialprüfung

1.6.1.1 Allgemeines

Die M6-Schraubverbindung zwischen der Lenkstange 10St71 und dem Gelenkstangenkopf wurde auf ihren Schaden hin geprüft und materialkundlich untersucht. Im resultierenden Prüfbericht finden sich folgende Schlussfolgerungen:

- „Die Gelenkkopfschraube hat ein M6-Rechtsgewinde mit der Festigkeitsklasse 10.9.
- Auf der Innenoberfläche der Mutter sind zwei Gewinderichtungen vorhanden (rechts + links).
- Die Mutter weist Deformationen in Form von starken Verformungen im Zahnkopfbereich auf.
- Die Schraube weist eine deutlich höhere Härte als die Mutter auf [Festigkeitsklasse 4.8].
- Mit einem Nachstellversuch konnten ähnliche Schadensbilder erzeugt werden.“

Ferner sagt der Prüfbericht, dass das makroskopische Schadensbild das Eindrehen einer Schraube mit Rechtsgewinde in eine Mutter mit Linksgewinde zeigt (siehe Abbildung 7 resp. Abbildung 8). Die Gewindespitzen an der Schraube sind flach abgetragen.

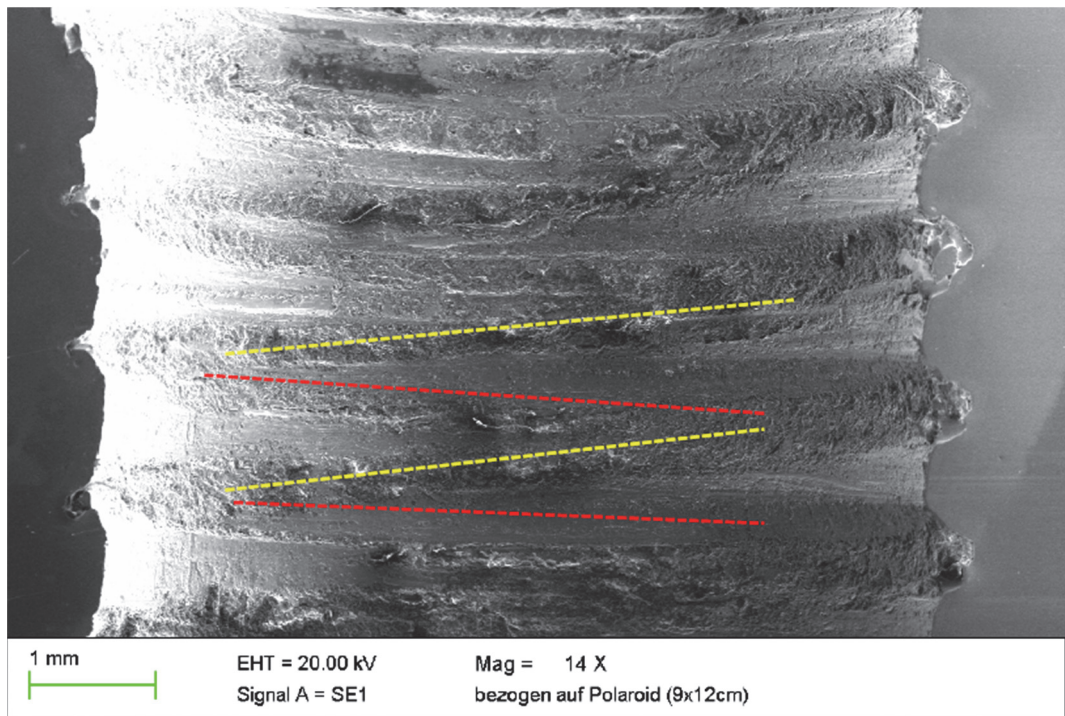


Abbildung 7: Innenaufnahme der Mutter vor dem Reinigen (aufgeschnitten). Es sind zwei verschiedene Gewinderichtungen (Rechts- und Linksgewinde) vorhanden.

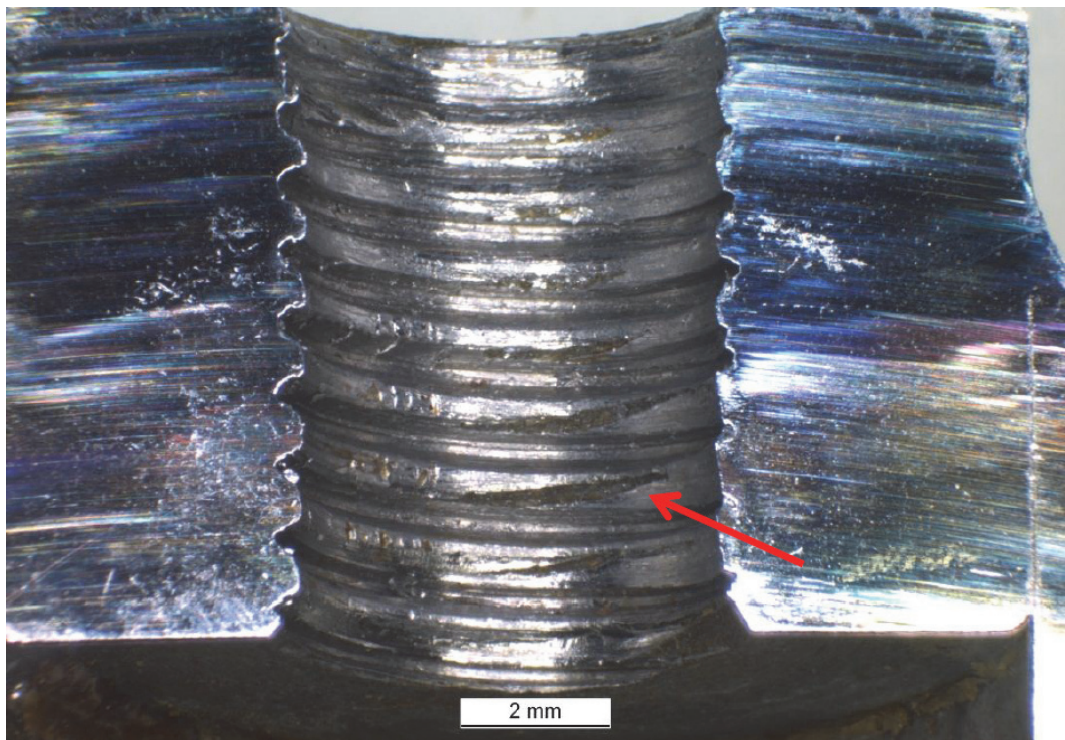


Abbildung 8: Aufnahme der Mutter nach dem Reinigen mit sekundär beschädigtem Innengewinde (roter Pfeil).

1.6.1.2 Nachstellversuch

Eine Schraube der Festigkeitsklasse 10.9 (Rechtsgewinde) wurde in eine Mutter der Festigkeitsklasse 4.8 (Linksgewinde) eingeschraubt. Dabei wurde festgestellt, dass dies mit flachgeschliffenen Gewindespitzen problemlos möglich ist. Im Originalzustand, d. h. ohne vorheriges Flachsleifen des Gewindes, ist es nur mit erheblichem Kraftaufwand möglich, die Schraube einzudrehen.

Die vorliegenden metallografischen Befunde an der Gelenkkopfschraube aus der HB-3410 deuten darauf hin, dass die Gewindespitzen vor dem Eindrehen flachgeschliffen wurden.

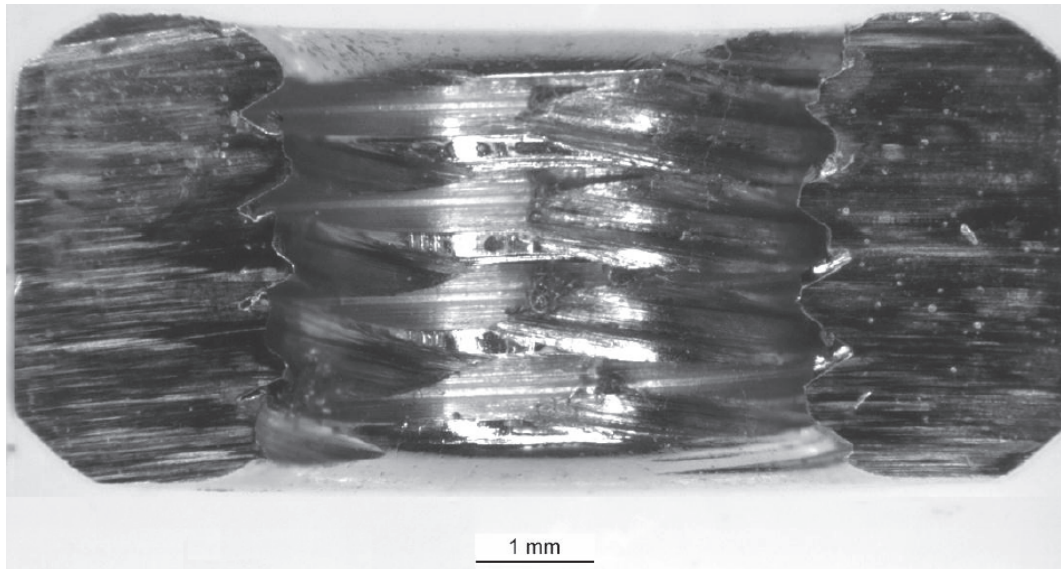


Abbildung 9: Mutter aus dem Nachstellversuch

1.6.2 Festigkeitsanalyse des Gelenkstangenkopfes

Die Verbindung zwischen dem Gelenkstangenkopf und der Lenkstange 10St71 des Bremsklappengestänges wurde unter folgenden Annahmen auf ihre Festigkeit überprüft:

- Einwandfrei gefertigte Verbindung.
- Einheitskollektiv mit der axialen Wechsellast auf die Verbindung von 35 daN, wie es die CS-22⁶ als maximal zu berücksichtigende Bremsklappen-Handkraft des Piloten vorgeben.
- Basierend auf den Festigkeitsklassen, die aus dem Bericht der Materialprüfung (vgl. Kapitel 1.6.1.1) hervorgehen.
- Vollständiges Einschrauben des Gelenkstangenkopfes in die Lenkstangenmutter.
- Konservativ ein zusätzlicher Stossfaktor von 2.0 angenommen aufgrund des Gewindespiels (vgl. Anlage 2).

Die Berechnungen zur Festigkeitsanalyse ergeben folgende Resultate:

- „Der Gelenkstangenkopf weist im Gewindebereich eine Sicherheit gegen Ermüdung von 3.44 auf.“

⁶ CS: *certification standards* für (motorisierte) Segelflugzeuge nach EASA

- Die Mindestabscherkraft des Muttergewindes beträgt 21.6 kN und liegt damit über der Mindestbruchkraft des Gelenkstangenkopfes.
- Die Flächenpressung des Gewindes liegt auch bei maximaler, axialer Betätigungskraft unterhalb des zulässigen Wertes für Bewegungsgewinde.“

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die untersuchte Verbindung somit alle Anforderungen bezüglich der Festigkeit erfüllt und noch ausreichend Reserven aufweist, um den teilweise vereinfachenden Annahmen Rechnung zu tragen.

Bei Drehbewegungen der Bremsklappenhebel wird der Gelenkstangenkopf in der Mutter gedreht und übernimmt somit die Funktion einer Bewegungsschraube mit ISO⁷-Regelgewinde. Laut Bericht zur Festigkeitsanalyse sei eine solche konstruktive Ausführung unüblich, jedoch nicht zu beanstanden, sofern alle Anforderungen bezüglich der Festigkeit erfüllt seien.

1.6.3 Auswertung der FLARM-Daten

Anhand der FLARM-Aufzeichnung konnte die Gleitzahl aus der Höhendifferenz und der Distanz zwischen zwei Wegpunkten errechnet werden. Die Gleitzahl und die Geschwindigkeit gegenüber dem Boden zu einem bestimmten Zeitpunkt sind errechnete Mittelwerte und berücksichtigen somit keinen Windeinfluss.

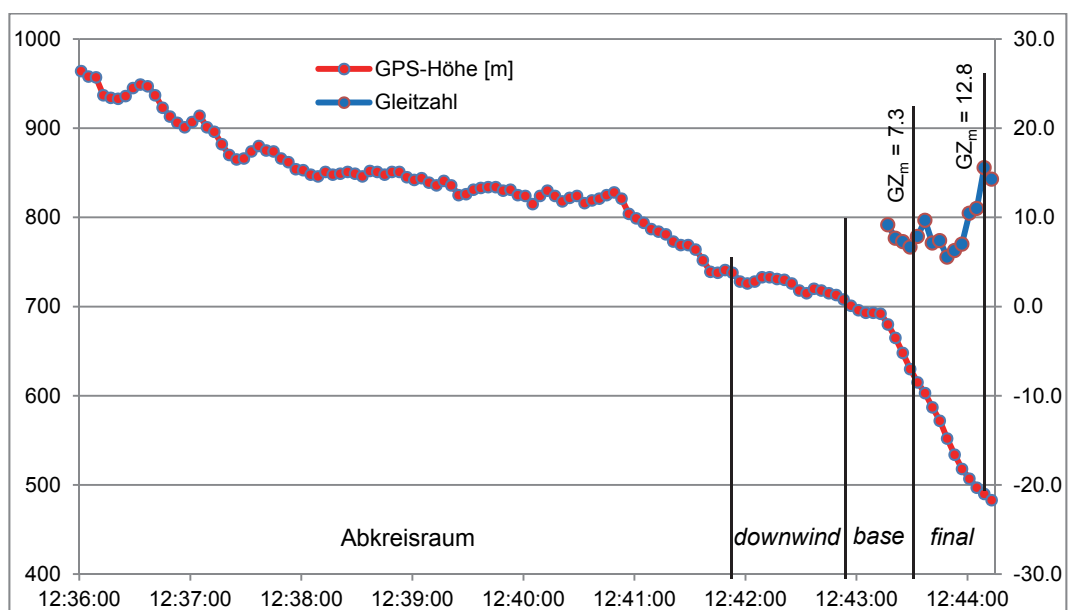


Abbildung 10: Höhenverlauf der HB-3410 (rot) vom Zeitpunkt des Einflugs in den Abkreisraum um 12:36:01 Uhr, über den Gegenanflug (*downwind*), Queranflug (*base*) und Endanflug (*final*) bis zum Aufzeichnungsende um 12:44:13 Uhr und Verlauf der errechneten Gleitzahl über Grund ab 12:43:17 Uhr (blau).

Aus der Aufzeichnung geht hervor, dass die mittlere Gleitzahl im Endanflug während 40 Sekunden 7.3 und danach während 16 Sekunden 12.8 betrug.

Daraus darf geschlossen werden, dass um 12:43:17 Uhr die Bremsklappen ausgefahren und unmittelbar nach 12:43:57 Uhr die Bremsklappen teilweise eingefahren wurden. Zum gleichen Zeitpunkt erfolgte auch eine kleine Richtungsänderung nach rechts (vgl. Abbildung 12 in Anlage 1).

⁷ ISO: *International Organisation for Standardisation*, Internationale Organisation für Normung

1.7 Zusätzliche Angaben

1.7.1 Verbreiten sicherheitsrelevanter Informationen

1.7.1.1 Aufsichtsbehörde

Wenige Tage nach dem Unfall veröffentlichte das BAZL, basierend auf den ersten Erkenntnissen der vorliegenden Untersuchung, die SAND⁸-2013-002, um die restlichen Betreiber des Luftfahrzeugmusters DG-1000 in der Schweiz auf einen Defekt im Bereich des Gestänges für die Bremsklappenbetätigung hinzuweisen.

Im Sinne einer Sofortinformation zur Verhinderung von ähnlichen Vor- und Unfällen wurden alle Halter und Eigentümer von Luftfahrzeugen dieses Baumusters gebeten, eine visuelle Prüfung an der betroffenen Schraubverbindung durchzuführen.

1.7.1.2 Flugzeughersteller

In ähnlicher Weise erliess der Flugzeughersteller die Service-Info Nr. 83-13 (vgl. Anlage 2) mit dem Ziel, ähnliche Zwischenfälle zu vermeiden. Dabei wurden die Betreiber angehalten, dem Flugzeughersteller mitzuteilen, falls ein Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde vorgefunden wurde.

Aufgrund zahlreicher Kundenanfragen wurde im Weiteren auf der Internetseite des Herstellers die Information veröffentlicht, dass die über viele Jahre genutzte und gebrauchte Verbindung auf Zug belastet wurde. In einem Einzelfall hielt die Schraubverbindung bei einem Gewindenspiel von 2.5 mm sogar dem 14-Fachen der zulässigen Belastung gemäss CS-22 stand.

Im Rundschreiben (*newsletter*) „Piloten-Info Nr. 172“ vom 11. September 2013 wurde auf die Service-Info Nr. 83-13 nicht hingewiesen.

1.7.1.3 Rückmeldungen von Betreibern

Einige Betreiber verschiedener DG-Segelflugzeugmuster reagierten auf den Aufruf des BAZL bzw. des Herstellers und stellten ein Spiel besagter Schraubverbindung im Bereich von 1.2 mm bis 2.05 mm fest. Es wurden keine M6-Rechtsgewinde vorgefunden.

Datum	Eintragungszeichen	Muster	Werknummer	Spiel [mm]	Gewinde
19.10.2013	PH-1434	DG-505	5E171W9	1	links
09.09.2013	PH-1380	DG-1000S	10-102S69	1.5	links
09.09.2013	PH-1358	DG-1000T	10-86T24	1.5	links
19.08.2013	D-6510	DG-1000S	10-045	1	links
13.08.2013	HB-3097	DG-500/22	5E89S13	2	links
13.08.2013	D-KAYB	DG-1000M	10-161M10	2.05	links
08.08.2013	HB-3361	DG-1000S	10-13S13	?	links

Tabelle 1: Angaben zu vorgefundenen M6-Schraubverbindungen gemäss Rückmeldungen.

Darunter fanden sich Äusserungen zur Konstruktion der M6-Schraubverbindung ohne Schmiermöglichkeit, wonach es nicht erstaune, dass aufgrund der vorherrschenden Wechselbelastung der Schraubverbindung mit Blick auf die unzähligen Zyklen ein gewisses Spiel und Abnützungerscheinungen entstehen müssen.

⁸ SAND: *safety awareness notification data*, sicherheitsrelevante Anleitungen und Empfehlungen

1.7.2 Aussagen zur M6-Schraubverbindung

1.7.2.1 Flugzeughersteller

Bei der klassischen M6-Schraubverbindung, die als Bewegungsgewinde eingesetzt wird, handelt sich um eine ungeschmierte Schraubverbindung, die seit dem Baumuster DG-200 in der Bremsklappensteuerung Verwendung findet.

Zur Doppelfunktion des Befestigungsgewindes als Drehlager und Schraubverbindung gab der Hersteller an, dass diese wohl untypisch sein möge, aber diese Bauweise als „bewiesen sicher einzustufen“ sei, da sie seit 38 Jahren in über 2000 Segelflugzeuge eingebaut wurde.

Nach Angaben des Herstellers haben die archivierten Lagerbewegungen für die Abteilung Rohbau gezeigt, dass die richtige Anzahl und Sorte der Gelenkstangenköpfe bei der Herstellung der HB-3410 ausgebucht wurden. Ob ein Gelenkstangenkopf mit Links- oder Rechtsgewinde eingebaut worden ist, war im Jahr 2007 allerdings kein Punkt auf der Prüfliste bei „Abnahme Rohbau“.

Abschliessend hielt der Hersteller fest, dass lediglich ein Gelenkstangenkopf mit falschem Gewinde zu dem Versagen geführt haben könne.

1.7.2.2 Unterhaltsbetrieb

Der Unterhaltsbetrieb, bei dem die HB-3410 aufgrund einer „Bauchlandung“ im Jahr 2010 wieder instand gesetzt wurde (vgl. Kapitel 1.1.2), gab an, dass die Wechselbelastung der zur Diskussion stehenden M6-Schraubverbindung nach eigener Einschätzung eher „unorthodox“, jedoch zugelassen sei. Er wurde durch die Service-Info (Nr. 83-13) des Flugzeugherstellers (Anlage 2) auf die Problematik des möglichen Spiels in der M6-Schraubverbindung aufmerksam und mache aufgrund dessen bei einer Jahreskontrolle immer eine visuelle Prüfung der Schraubverbindungen der Bremsklappensteuerung. Es wurde dabei festgestellt, dass die Verbindung in der vorgefundenen Position zwischen Schraube und Mutter mehr Spiel hatte, als wenn die Schraube gegenüber der Mutter in der einen oder anderen Richtung aus der vorgefundenen Position gedreht wurde. Dies deute auf Abnützungserscheinungen hin. Insgesamt sei anlässlich der 3000-Stunden-Kontrolle bei vier Flugzeugen des Musters DG-500 die M6-Schraubverbindung ausgewechselt worden, auch wenn die maximal zulässige Limite von 2 mm Spiel nicht erreicht worden war.

Der Unterhaltsbetrieb konnte sich nicht erklären, wie die vorliegende Verwechslung der Gewinderichtungen im Gelenkstangenkopf der M6-Schraubverbindung zustande gekommen sein konnte.

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

Die Wechselbelastung der klassischen M6-Schraubverbindung, die bei Drehbewegungen der Bremsklappenhebel als Bewegungsgewinde eingesetzt wird, ist aus Sicht der Konstruktion, die seit dem Baumuster DG-200 in der Bremsklappensteuerung Verwendung findet, unüblich.

Dies ist denn auch der Grund, warum sich in der Bremsklappensteuerung über viele Aus- und Einfahrzyklen ein gewisses Spiel einstellt (vgl. Tabelle 1), das jedoch gemäss Angaben des Herstellers unbedenklich sei. In einem Einzelfall hielt die Verbindung bei einem Gewindespiel von 2.5 mm, das deutlich über dem maximal empfohlenen Wert von 2 mm liegt (vgl. Anlage 2), sogar dem 14-Fachen der zulässigen Belastung stand.

Im vorliegenden Fall wurden an der Innenoberfläche der Mutter der M6-Schraubverbindung zwischen der Lenkstange 10St71 und dem Gelenkstangenkopf zwei Gewinderichtungen (rechts- und linksgängig) vorgefunden. Mit Blick auf die oben erwähnte Wechselbelastung ist es daher nicht erstaunlich, dass sich die Schraube infolge der unzähligen Zyklen aus der Mutter löste, als der Flugschüler die Bremsklappen im Endanflug wieder einfahren wollte. Bei diesem Vorgang scheint die Schraubverbindung der Zugkraft anfänglich standgehalten zu haben und sie löste sich erst, als die Bremsklappen noch zu zwei Dritteln ausgefahren waren. Dies deckt sich mit der erhöhten Gleitzahl, wie sie aus den FLARM-Aufzeichnungen hervorgeht.

Aus dem Prüfbericht ist das makroskopische Schadensbild ersichtlich, das beim Eindrehen einer Schraube mit Rechtsgewinde in eine Mutter mit Linksgewinde entsteht (siehe Abbildung 7 resp. Abbildung 8). Im Originalzustand, d. h. ohne vorheriges Flachsleifen des Gewindes, ist es allerdings nur mit erheblichem Kraftaufwand möglich, die Schraube einzudrehen. Wie ein Nachstellversuch zeigte (vgl. Kapitel 1.6.1.2), ist das Eindrehen einer Schraube höherer Festigkeitsklasse mit Rechtsgewinde in eine Mutter tieferer Festigkeitsklasse mit Linksgewinde jedoch durchaus möglich.

Der Hersteller gab an, dass zum Zeitpunkt der Fertigung der DG-1000S im Jahr 2007 die Prüfung, ob ein Gelenkstangenkopf mit Links- oder Rechtsgewinde eingebaut worden sei, kein Bestandteil der qualitätssichernden Massnahmen (vgl. Kapitel 1.7.2.1) gewesen sei. Gemäss Auskunft des Unterhaltsbetriebes wurden nach einer „Bauchlandung“ im Jahr 2010 an der HB-3410 anlässlich der Reparatur der Rumpfunterseite keinerlei Arbeiten an der Bremsklappensteuerung durchgeführt.

Aufgrund dieser Aussagen lässt sich daher nicht abschliessend klären, wann und durch wen der Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde in die Lenkstange 10St71 mit Linksgewinde eingedreht worden ist.

Wenige Tage nach Unfall erliess der Flugzeughersteller, gestützt auf die ersten Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung, die Service-Info Nr. 83-13 (vgl. Anlage 2) mit dem Ziel, ähnliche Zwischenfälle zu vermeiden. Das Bekanntmachen dieser früh erlangten Erkenntnis ist im Sinne der Prävention zielführend. Es ist demgegenüber nicht nachvollziehbar, dass im vorliegenden Fall sicherheitsrelevante Informationen bzw. Anleitungen, wie sie in der Service-Info zu finden bzw. vor dem nächsten Flug auszuführen sind, vom Hersteller nur nach dem Holprinzip kommuniziert werden.

2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

Dem Fluglehrer und dem Flugschüler waren vor Antritt des Fluges keine technischen Einschränkungen bekannt. Anlässlich der Vorflugkontrolle wurden die Bremsklappen wie üblich auf ihre Gängigkeit geprüft und für gut befunden. Nach der Schulung zum Thema Gefahrenweisung mit Trudeln befand sich die HB-3410 im Abkreisraum südlich des Flugplatzes. Aufgrund lokaler Aufwinde wurden die Bremsklappen halb ausgefahren und kurz daraufhin wieder eingefahren und verriegelt. Offensichtlich hat die Ansteuerung der Bremsklappen bis zu diesem Zeitpunkt noch funktioniert.

Erst als der Flugschüler im Endanflug auf Piste 03 um 12:43:57 Uhr den Gleitwinkel anpassen und dazu die Bremsklappen wieder einfahren wollte, löste sich die M6-Schraubverbindung. Aus den FLARM-Aufzeichnungen geht hervor, dass sich die HB-3410 zu diesem Zeitpunkt bereits über besiedeltem Gebiet auf einer Höhe von rund 50 m über dem Flugplatz befand. Die Bremsklappen seien ab diesem Zeitpunkt zu etwa zwei Dritteln ausgefahren geblieben, was mit der Erhöhung der Gleitzahl auf rund 13 einhergeht.

Der Fluglehrer übernahm umgehend die Kontrolle über die HB-3410, was der Situation angepasst war. Ohne die Möglichkeit, den Gleitweg über die Betätigung der Bremsklappen kontrollieren zu können, blieb im Endanflug über besiedeltem Gebiet kaum eine Option für eine erfolgsversprechende Aussenlandung offen. Nach eigenen Angaben verwarf der Fluglehrer denn auch aufgrund von Bäumen die Möglichkeit, auf einem Feld vor den Industriebauten der Sika Sarnafil AG (vgl. Abbildung 1) zu landen, und versuchte stattdessen, das Flugplatzgelände zu erreichen.

Das Segelflugzeug kollidierte mit Hausdächern und streifte einen Baum rund 270 m vor der Pistenschwelle, überschlug sich und kam in Rückenlage in der Sarnener Aa zum Stillstand. Wenige Höhenmeter wären wahrscheinlich ausreichend gewesen, um die Häuser in geringer Höhe zu überfliegen und unbeschadet auf der Wiese südlich des Pistenanfangs notzulanden (vgl. Abbildung 1). Es ist letztlich einem glücklichen Umstand zuzuschreiben, dass die beiden Insassen infolge des Aufpralls nur leicht verletzt wurden und sich selbstständig aus dem Segelflugzeug befreien konnten.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Das Segelflugzeug war zum Verkehr nach VFR zugelassen.
- Sowohl die Masse als auch der Schwerpunkt des Segelflugzeuges lagen zum Unfallzeitpunkt innerhalb der gemäss Luftfahrzeugflughandbuch (*aircraft flight manual* – AFM) zulässigen Grenzen.
- Die in der Bremsklappensteuerung zur Anwendung kommende Doppelfunktion der M6-Schraubverbindung ist unüblich. Sie erfüllt jedoch die Vorgaben der Zertifizierung (*certification standards* – CS) der EASA.
- Ein falsch verbauter Gelenkstangenkopf der Bremsklappensteuerung löste sich, wodurch die Bremsklappen nicht mehr betätigt werden konnten.

3.1.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

- Der Fluglehrer und der Flugschüler besaßen die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Beeinträchtigungen der Insassen während des Unfallfluges vor.
- Es handelte sich um einen Schulungsflug zum Thema Gefahrenweisung mit Trudeln.
- Im Endanflug über besiedeltem Gebiet auf die Piste 03 in Kägiswil (LSPG) liesen sich die Bremsklappen nicht mehr einfahren und blieben teilweise ausgefahren.
- Das Segelflugzeug kollidierte mit Hindernissen rund 270 m vor der Pistenchwelle, überschlug sich und kam in Rückenlage in der Sarner Aa zum Stillstand.
- Beide Insassen konnten das Wrack leicht verletzt aus eigener Kraft verlassen und ans Ufer waten.

3.1.3 Rahmenbedingungen

- Das Wetter hatte keinen Einfluss auf den Unfallhergang.

3.2 Ursachen

Der Unfall ist auf eine Kollision mit Hindernissen im Endanflug zurückzuführen, weil die Bremsklappen nicht mehr eingefahren werden konnten.

Als Ursache für das Versagen der Bremsklappen wurde ein falsch verbauter Gelenkstangenkopf in der Bremsklappensteuerung ermittelt, welcher der Belastung nicht mehr standhielt.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen**4.1 Sicherheitsempfehlungen**

Keine

4.2 Sicherheitshinweise

Keine

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Am 9. August 2013 wurde vom Flugzeughersteller die Service-Info Nr. 83-13 erlassen, wonach bei DG-1000 aller Baureihen das Spiel des Gewindes zwischen den Lenkstangen 5St70 und 10St71 zu messen ist. Bei Rechtsgewinden oder einem Spiel von mehr als 2 mm ist die Lenkstange 10St71 auszutauschen (vgl. Anlage 2).

Payerne, 8. September 2015

Untersuchungsdienst der SUST

Dieser Schlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 10 lit. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 20. August 2015

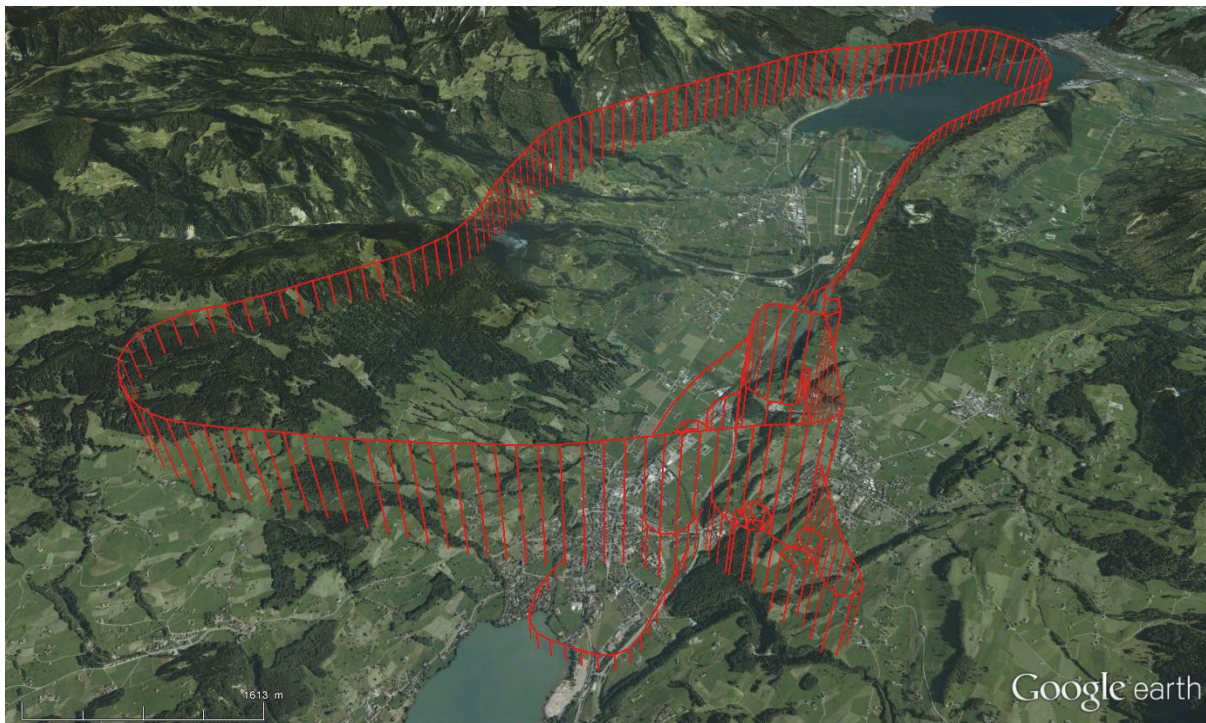
Anlage 1: Flugverlauf gemäss FLARM-Aufzeichnung

Abbildung 11: Darstellung des gesamten Flugverlaufs vom Startzeitpunkt um 12:14:17 Uhr bis Aufzeichnungsende um 12:44:13 Uhr, eingezeichnet in Google Earth.

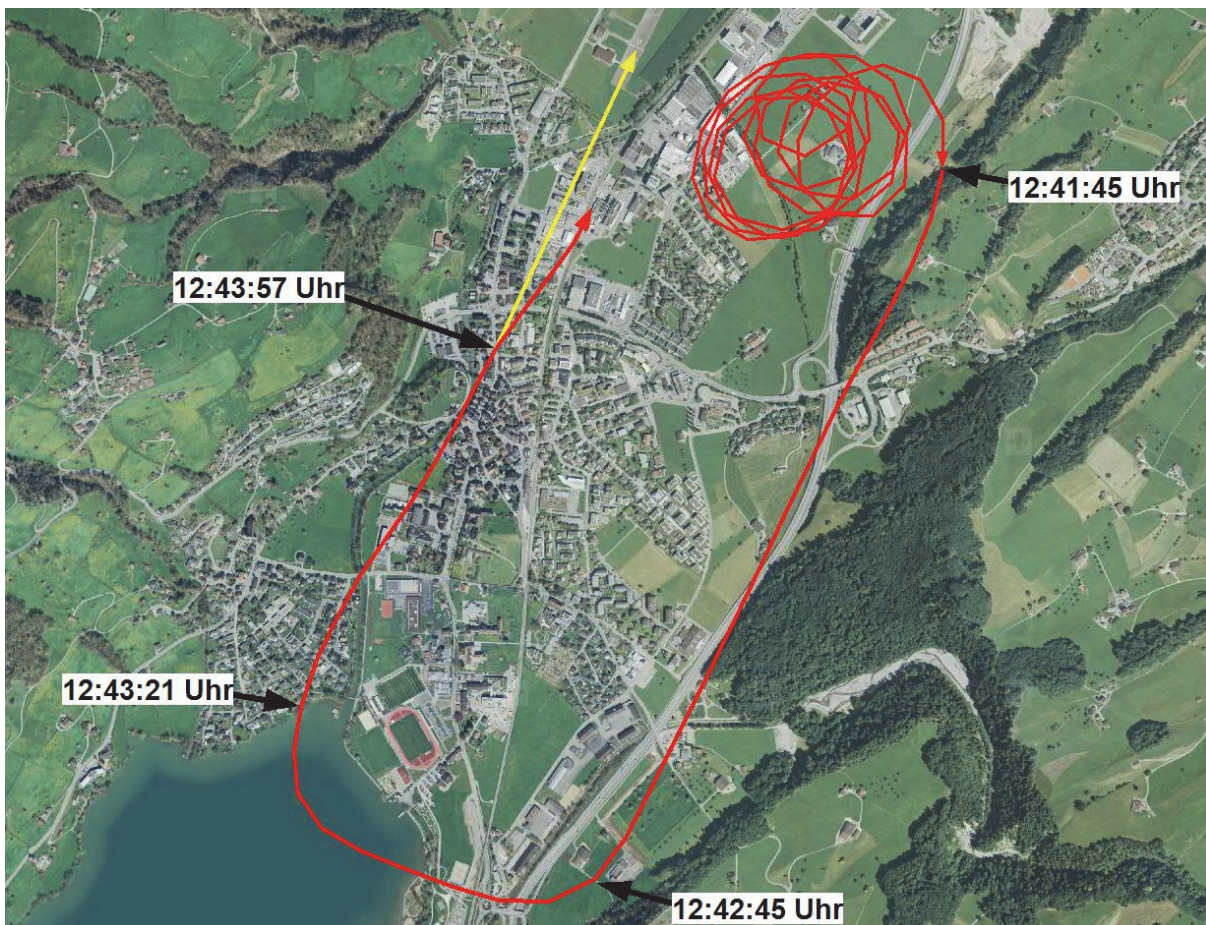


Abbildung 12: Flugweg der HB-3410 ab 12:36:05 Uhr bis Aufzeichnungsende (rot) und hypothetischer, direkter Endanflug auf die Piste 03 ab 12:43:57 Uhr (gelb), eingezeichnet in Google Earth.

Anlage 2: Service-Info Nr. 83-13 des Flugzeugherstellers**DG Flugzeugbau GmbH**
76646 Bruchsal**Service-Info**
Nr. 83-13

Seite/page 1 von/of 2

Gegenstand : Bremsklappensteuerung, Gelenkstangenkopf
 Subject : Airbrake control, rod end with left hand thread
 Betroffen/Applicability :
 Typ/type : DG-1000 alle Baureihen/all variants
 Dringlichkeit : Maßnahmen 1-4 vor dem nächsten Flug, Maßnahme 5 bis 30.11.2013.
 Effectivity : Instructions 1-4 prior to the next flight, instruction 5 up to November 30th 2013.
 Vorgang : Bei einer in der Schweiz betriebenen DG-1000S wurde der Gelenkstangenkopf zwischen Stoßstangen 5St70 und 10St71 (siehe Diagramm 3 WHB) aus der Stoßstange 10St71 herausgerissen. Gelenkstangenkopf und Stoßstange haben an dieser Stelle Linksgewinde. Bei der betroffenen DG-1000 wurde aber ein Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde vorgefunden, s. Photo 1. D.h. irgendjemand hat ein Rechtsgewinde in das Linksgewinde der Stoßstange eingeschnitten, um diesen Gelenkstangenkopf einbauen zu können. Dadurch wird die Festigkeit des Gewindes natürlich drastisch reduziert.

Reason : On a DG-1000S operated in Switzerland the rod end connecting push rods 5St70 and 10St71 (see MM diagram 3) was torn out of the push rod. Rod end and push rod are designed with left hand threads. On the DG-1000S concerned a rod end with right hand thread was found, see photo 1. Thus someone must have cut a right hand thread into the pushrod to install such a rod end. This procedure will of course drastically reduce the strength of the thread.

Massnahmen : 1. Die Seitenverkleidung im hinteren Cockpit auf der linken Seite ausbauen.
 2. Feststellen, ob ein Gelenkstangenkopf mit Links-oder Rechtsgewinde eingebaut ist. Falls der Gelenkstangenkopf so weit in die Stoßstange gedreht ist, dass das Gewinde nicht zu erkennen ist, so ist die Verbindungsschraube auszubauen und die Stoßstange so weit ins Cockpit zu schwenken, dass der Gelenkstangenkopf gedreht werden kann. Darauf achten, dass die Einstellung nicht verändert wird und die Torsionsfeder wieder wie vorher vorgespannt wird.
 3. Messung des Spiels der Gewinde gemäß Photo 2, dazu die Stoßstange 5St70 fest in die Führung drücken (2. Person erforderlich), so dass sie sich nicht bewegen kann. Stoßstange 10St 71 zur Bordwand hin und weg bewegen und die Differenz messen, max. zulässig 2 mm.
 4. Falls ein Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde vorgefunden wird, so machen Sie bitte ein Foto und mailen es umgehend an DG Flugzeugbau: wassenaar@dgflugzeugbau.de mit Angabe der W.Nr. Ihrer DG-1000.
 Wenn Rechtsgewinde festgestellt wird, so sind der Gelenkstangenkopf und die Stoßstange 10St71 auszutauschen.
 5. Wenn zu viel Spiel festgestellt wird, so sind der Gelenkstangenkopf und die Stoßstange 10St71 auszutauschen.

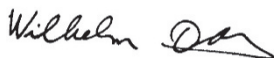
Instructions : 1. Remove the side cover on the left hand side of the rear cockpit.
 2. Check if a rod end with left hand or right hand thread is installed. In case the rod end is screwed in so far that you can't see the thread remove the connecting bolt and flap 10St71 so far into the cockpit that you can rotate the rod end. Make sure not to change the adjustment and to reinstall the torsion spring with the correct pretension.
 3. Check the free play of the threads according to photo 2. Hold pushrod 5St70 tight in the guide, so that it can't move (second person needed). Move pushrod 10St71 towards and away from the cockpit wall and measure the difference, a max. of 2 mm is allowed.
 4. If you found a rod end with right hand thread please make a picture and send it immediately to DG Flugzeugbau: wassenaar@dg-flugzeugbau.de. If a rod end with right hand thread has been found exchange pushrod 10St71 and the rod end.
 5. If too much free play has been found exchange pushrod 10St71 and the rod end.

Material: 41030711 Stoßstange/pushrod 10St 71
 58060110 Gelenkstangenkopf mit Linksgewinde/rod end with left hand thread GALXS6

Bruchsal 9.08.2013

Bearbeiter/Author:

W.Dirks



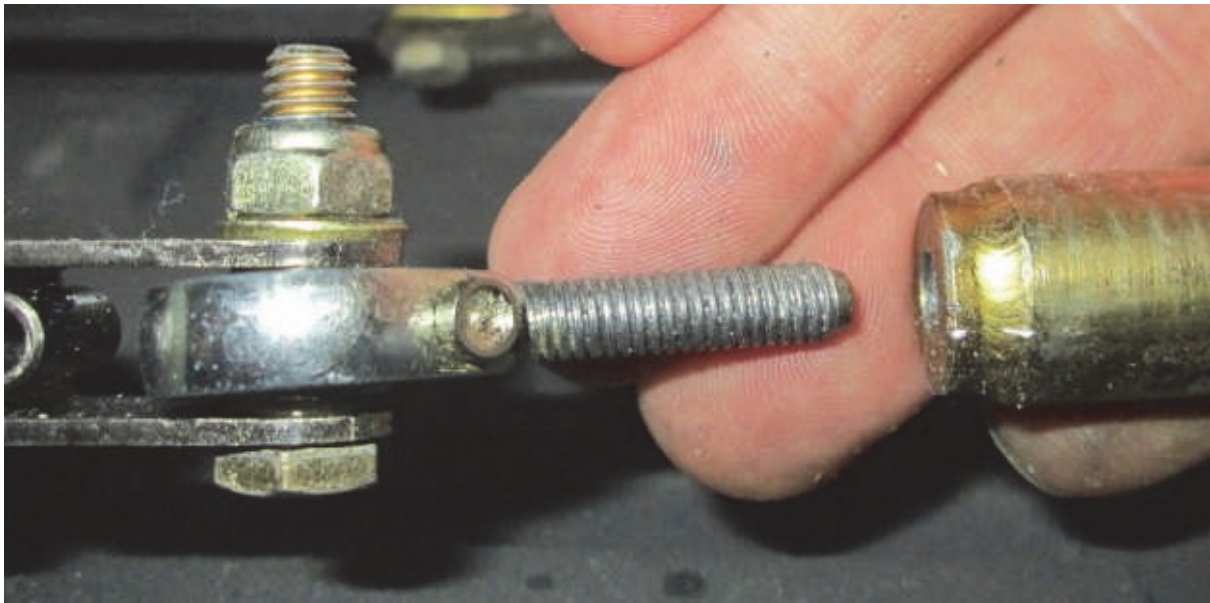


Photo 1: herausgerissener Gelenkstangenkopf mit Rechtsgewinde / *torn out rod end with right hand thread.*

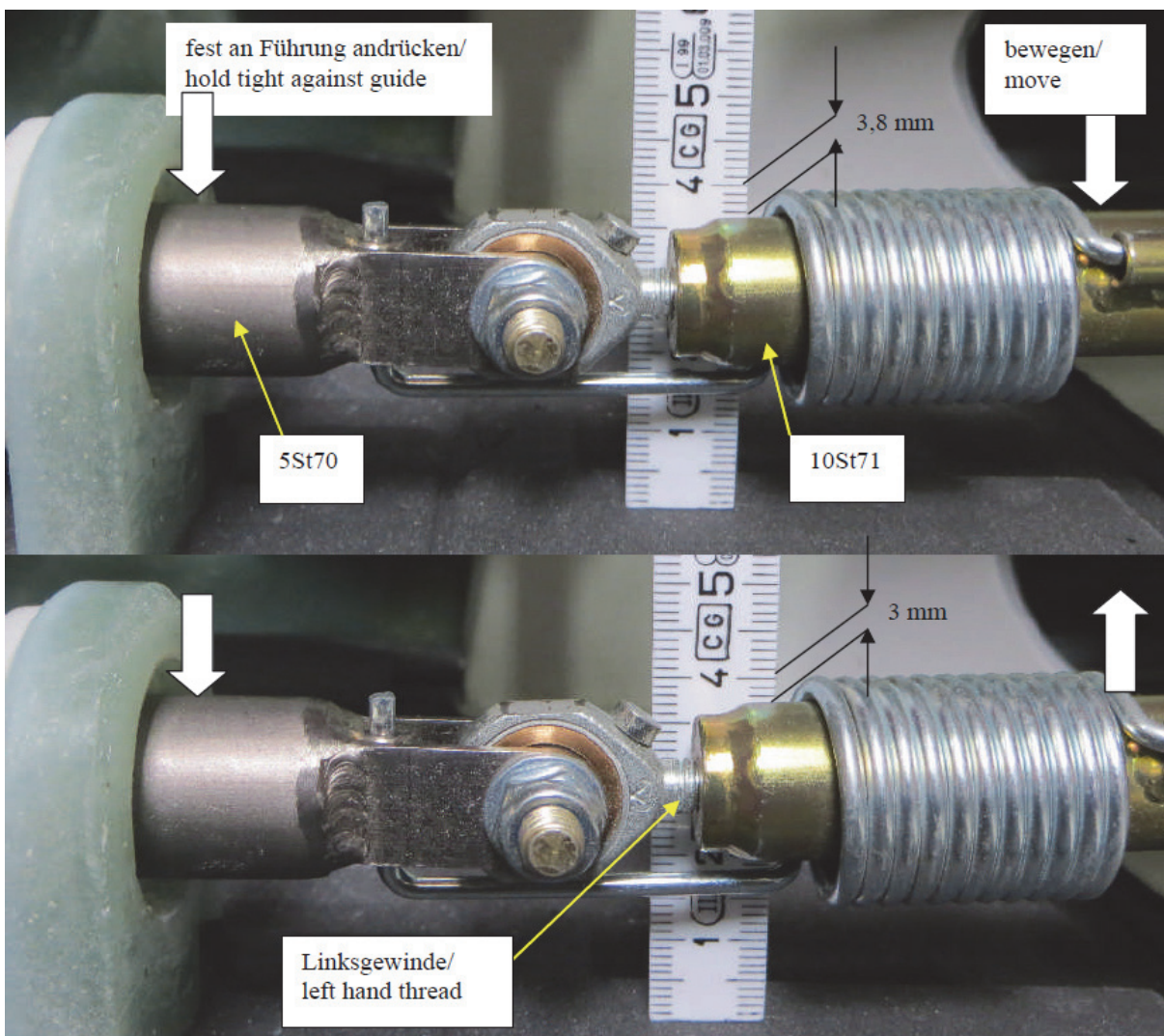


Photo 2: Gelenkstangenkopf mit Linksgewinde, Messung des Spiels, Ergebnis 0.8 mm / *rod end with left hand thread, measuring the free play, result 0.8 mm.*