



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST
Service d'enquête suisse sur les accidents SESA
Servizio d'inchiesta svizzero sugli infortuni SISI
Swiss Accident Investigation Board SAIB

Bereich Aviatik

Schlussbericht Nr. 2182 der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST

über den Unfall des Gasballons
Wörner NL-1000/STU, HB-QHJ

vom 25. Juni 2011

Müliwisstrasse, Fisibach/AG
15 km nordwestlich des Flughafens Zürich

Cause

L'accident est dû au fait que le ballon est passé dans une phase de vol descendant rapide suite à une perte soudaine de gaz et a percuté le sol.

Les facteurs suivants ont été déterminés comme causal :

- Le pilote a opéré le ballon en contradiction avec les lois physiques fondamentales.
- Très probablement, le ballon a dépassé la hauteur maximale admissible par l'enveloppe pour la quantité de gaz embarquée avec le dispositif de remplissage fermé, ce qui a conduit à l'éclatement de l'enveloppe du ballon.

Le facteur suivant a été déterminé comme ayant pu éventuellement contribuer à l'accident :

- Le pilote a été distrait dans une phase de vol décisive par l'utilisation du transponder et les communications avec les organes de la circulation aérienne.

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

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

Gemäss Art. 3.1 der 10. Ausgabe des Anhanges 13, gültig ab 18. November 2010, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalles 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.

Die deutsche Fassung dieses Berichts entspricht dem Original und ist massgebend.

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 im Unfallzeitpunkt der mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ) entsprach. Die Beziehung zwischen LT, MESZ und koordinierter Weltzeit (*co-ordinated universal time* – UTC) lautet:

LT = MESZ = UTC + 2 h.

Schlussbericht

Luftfahrzeugmuster	Wörner NL-1000/STU	HB-QHJ
Halter	Ballonsportgruppe Rapperswil, Hummelbergstrasse 4, 9216 Hohentannen	
Eigentümer	Ballonsportgruppe Rapperswil, Hummelbergstrasse 4, 9216 Hohentannen	

Pilot	Schweizer Staatsangehöriger, Jahrgang 1942			
Ausweis	Ausweis für Gasballonpilot (<i>Gas Balloon</i>), Erstaussstellung durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 10. Oktober 1979 und gültig bis 19. August 2011			
Wesentliche Berechtigungen	Nachtfahrten (<i>NIT(Balloon)</i>)			
Medizinisches Tauglichkeitszeugnis	Nicht vorgeschrieben			
Fahrzeit	insgesamt	3605:09 h	während der letzten 90 Tage	24:26 h
	auf dem Unfallmuster	559:36 h	während der letzten 90 Tage	21:51 h

Ort	Müliwisstrasse, Fisibach/AG		
Koordinaten	672 915 / 268 980	Höhe	ca. 370 m/M
Datum und Zeit	25. Juni 2011, 05:02 Uhr		

Betriebsart	VFR privat
Fahrtphase	Aufstieg
Unfallart	Kollision mit dem Boden nach Verlust des Traggases

Personenschaden

Verletzungen	Besatzungsmitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	1	1	0
Erheblich	0	1	1	0
Leicht	1	0	1	0
Keine	0	0	0	Nicht zutreffend
Gesamthaft	1	2	3	0

Schaden am Luftfahrzeug Zerstört

Drittschaden Schaden am Dach einer Scheune und einem in der Scheune eingelagerten Fahrzeug durch abgeworfenen Sandsack.

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Fahrtverlauf

1.1.1 Allgemeines

Die folgende Beschreibung von Vorgeschichte und Fahrtverlauf beruht auf Aussagen des Piloten, des überlebenden Passagiers und des für die Bereitstellung des Ballons verantwortlichen Platzchefs, auf Fotoaufnahmen, welche während der Bereitstellung und des Starts des Ballons gemacht wurden, auf den Radarzeichnungen und den Aufzeichnungen von Telefon- und Funkgesprächen sowie den gespeicherten Daten der mitgeführten elektronischen Geräte (GPS, Multifunktionsgerät Aircotec Primus).

1.1.2 Vorgeschichte

Der Pilot plante, mit zwei Passagieren am Wochenende vom 25./26. Juni 2011 eine Alpenfahrt mit dem Gasballon HB-QHJ ab dem Startplatz der Ballonsportgruppe Rapperswil in Bad Zurzach durchzuführen. Passagier A hatte die Fahrt geschenkt bekommen und war zuvor noch nie in einem Gasballon mitgefahren, hatte aber in der Vergangenheit zwei Fahrten mit Heissluftballonen unternommen. Er kannte den Piloten nicht. Passagier B kannte den Piloten seit vielen Jahren und erklärte sich auf dessen Anfrage hin spontan bereit, an der geplanten Fahrt teilzunehmen. Beiden Passagieren wurde vom Piloten mehrere Tage vor der Fahrt eine Checkliste sowohl für allgemeine Gasballonfahrten wie auch für Alpenfahrten zugestellt.

Am Freitag, 24. Juni 2011 vormittags klärte der Pilot unter anderem in Rücksprache mit MeteoSchweiz die Wetterprognosen für das Wochenende ab und teilte daraufhin per E-Mail den Passagieren, dem Platzchef sowie den vorgesehenen Nachfahrern mit, dass die Prognosen für den Samstag günstiger seien als für den Sonntag und die Fahrt daher wahrscheinlich am Samstag stattfinden werde. Dies vor allem dank des am Samstag stärkeren Windes, welcher den Ballon zügiger voranbringen und so ein Verlassen des Nahkontrollbezirkes (*terminal control area* – TMA) Zürich bis 06:00 Uhr problemlos ermöglichen würde. Dies war aufgrund der Südanflüge auf den Flughafen Zürich zwingend notwendig. Der Pilot teilte weiter mit, dass er den definitiven Entscheid am späten Nachmittag fällen werde.

Nachdem sich der Pilot gemäss eigener Aussage am Nachmittag noch etwas schlafen gelegt hatte, telefonierte er um 16:48 Uhr mit der Flugsicherung, um die Fahrt für den Samstag, 25. Juni 2011 anzumelden. Als Startzeitpunkt gab er ein Fenster von 04:30 bis 04:45 Uhr an, und bat darum, nach dem Start direkt auf Flugfläche (*flight level* – FL) 100 steigen zu dürfen. Als Ziel der Alpenfahrt gab er das Dreieck Vicenza-Padua-Venedig an. Es wurde vereinbart, dass er kurz vor dem Start telefonisch eine Startmeldung durchgeben und danach via Funk die Flugsicherung kontaktieren solle.

Nachdem der Pilot die Passagiere und den Platzchef informiert und für die Passagiere bereits Beförderungsscheine vorbereitet hatte, legte er sich nach eigener Angabe um ca. 21:00 Uhr schlafen.

1.1.3 Vorbereitung

Am Samstag, 25. Juni 2011 stand der Pilot gemäss eigener Angabe um ca. 02:00 Uhr auf und frühstückte. Dabei nahm er wie gewohnt auch eine Blutdrucktablette (Lisopril) ein.

Um ca. 02:40 Uhr verliess er das Haus, um zunächst den Passagier B an dessen Wohnort abzuholen. Dies erfolgte um ca. 02:45 Uhr. Im Anschluss fuhren die

beiden weiter an den Wohnort des Passagiers A und trafen dort gegen 03:30 Uhr ein. Nachdem der Passagier A sowie dessen Sohn, welcher den Startvorbereitungen und dem Start beiwohnen wollte, zugestiegen waren, fuhren sie gemeinsam zum Startplatz in Bad Zurzach. Dort trafen sie um ca. 04:00 Uhr ein.

Der Platzchef sowie vier Füllhelfer waren bereits gegen 03:00 Uhr auf dem Startplatz eingetroffen, um den Ballon für die Alpenfahrt bereit zu machen. Nachdem der Anhänger mit dem Ballon aus dem Hangar geholt und die Hülle ausgelegt und vorbereitet worden war, wurde gemäss Angabe des Platzchefs um 03:22 Uhr mit dem Füllvorgang begonnen. Als Traggas diente Wasserstoff (H₂), welcher auf dem Startplatz direkt ab einer Füllgasanlage bezogen werden kann.

Der Ballon wurde mit der sog. „Methode des Draufsitzens“ befüllt. Die vier Füllhelfer sassen im Bereich rund um die Parachute-Öffnung, welche sich am Nordpol der Hülle befindet, auf die noch leere Hülle, um sie zu beschweren. Dabei wurden wie üblich Kissen verwendet, um Beschädigungen der Hülle zu vermeiden. Danach wurde die Befüllung gestartet. Nach ca. 10 Minuten sprangen die Füllhelfer auf Kommando von der Hülle und liessen diese somit aufsteigen. Im Anschluss wurde die Befüllung mit nun aufgelassener Hülle fortgesetzt.

Um ca. 04:05 Uhr wurde der Füllvorgang beendet, da der Ballon zu diesem Zeitpunkt gemäss Schätzung des Platzchefs mit der benötigten Gasmenge von rund 75 % des Gesamtvolumens gefüllt war. Das totale Volumen des Ballons Wörner NL-1000/STU beträgt zwischen 1000 und 1050 m³.

Der Füllgrad von 75 % wurde im Vorfeld der Fahrt zwischen dem Piloten und dem Platzchef aufgrund von Erfahrungswerten bei früheren Alpenfahrten vereinbart. Das Ende der Befüllung erfolgte in Rücksprache mit dem bereits anwesenden Piloten.

Vor dem Füllvorgang wurde durch die Helfer der Ballast vorbereitet und im Korb verstaut. Einerseits waren dies drei Wasserbidons zu je ca. 10 kg, andererseits eine zunächst unbestimmte Anzahl Sandsäcke zu je ca. 14 kg. Die Wasserbidons wurden lose in den Korb gestellt, während die Sandsäcke gemäss Wunsch des Piloten an der auf der Innenseite des Korbes verlaufenden Griffgirlande eingehängt wurden.

Nach dem Befüllen wurden die verschiedenen Leinen vorbereitet und insbesondere die beiden Füllansatzhalteleinen, welche bei einem starken Fall oder bei einer Schleiffahrt am Boden verhindern sollen, dass sich der untere Teil der Hülle in den oberen Teil hineinstülpt, an der Griffgirlande festgeknotet.

Nach dem Eintreffen des Piloten auf dem Startplatz widmete er sich dem Ausrüsten des Korbes. Neben Funk, Transponder und GPS installierte er auch ein Multifunktionsgerät vom Typ Aircotec Primus, welches unter anderem die barometrische Höhe messen und in Intervallen von 20 Sekunden aufzeichnen kann. Das Gerät war auf ein QNH von 1023 hPa eingestellt und zeigte am Startplatz eine Höhe von 309 m an. Die Ortshöhe (*elevation*) des Startplatzes beträgt ca. 334 m/M. Weiter installierte der Pilot eine Nachtfahrtbeleuchtung und eine kleine Sauerstoffanlage. Auch verstaute er umfangreiches Kartenmaterial sowie die persönlichen Effekten von sich und seinen beiden Passagieren im Korb. Die Beförderungsscheine wurden an die Passagiere sowie eine Kopie an den Platzchef abgegeben.

Um 04:32 Uhr telefonierte der Pilot mit der Flugsicherung, um die Startmeldung durchzugeben. Er kündigte den Start ab Zurzach in ca. 10 Minuten an und bat darum, auch gleich den Flugplan zu eröffnen. Weiter erkundigte sich der Pilot, ob er einen Transpondercode bekommen werde, was ihm bestätigt wurde.

Nachdem der Pilot und die Passagiere den Korb bestiegen hatten, wurde durch den Platzchef und die Füllhelfer das Auswiegen des Ballons vorgenommen. Dazu wird der externe Ballast vom Korb entfernt und der eigentliche Ballast des Ballons so angepasst, dass der Ballon ungefähr in der Schwebelage ist. Danach werden zum Starten ein bis zwei Säcke wieder entfernt, so dass der Ballon ungefähr mit der gewünschten Geschwindigkeit aufsteigt. Im vorliegenden Fall waren gemäss Aussage des Platzchefs zwei weitere Sandsäcke als Ballast notwendig, so dass schliesslich nach seiner Aussage insgesamt 20 Sandsäcke (davon 3 in der Träufeltasche) zu je ca. 14 kg sowie die drei Bidons mit Wasser zu je ca. 10 kg dem Ballon als Ballast auf die Fahrt mitgegeben wurden.



Abbildung 1: Der Ballon kurz vor dem Start. Deutlich sichtbar die nicht vollständig gefüllte Hülle. Der Füllansatz (Appendix) am unteren Ende der Hülle ist auf dem linken Bild offen, auf dem rechten, welches etwas später aufgenommen wurde, teilweise hochgezogen, d.h. der untere Holzring (Pöschelring) ist um ungefähr 90 Grad gedreht.

Im Anschluss erfolgte das Abarbeiten einer Checkliste, welche bezüglich des Betriebs den Vorgaben des Ballonherstellers entsprach. Punkt für Punkt wurde durch den Platzchef abgelesen und nach mündlicher Bestätigung durch den Piloten abgehakt. Unter anderem enthält die Checkliste die Punkte „Höhenmesser eingestellt 330 m / 1140 ft“, „Ventilzug gemacht“ und „Leinen klar / Appendix offen“, welche alle abgehakt wurden. Weiter enthält die Checkliste durch den Platzchef auszufüllende Felder, welche den vorhandenen Ballast quantifizieren. Diese wurden wie folgt ausgefüllt: „Anzahl Wasserkanister: 3, Anzahl Sandsäcke vor dem Abwiegen: 3+17, Anzahl Sandsäcke beim Start: 17+3.“ Das „+3“ bezieht sich dabei auf den Sand in der Träufeltasche.

Der Pilot notierte in seinem Gasballon-Fahrtbericht unter der Rubrik „Ballast (Säcke)“ beim Start „17+3+3W“. Weiter gab er nach dem Unfall zu Protokoll: „Vor dem Start habe ich die Füllansatzzuziehleine leicht mit einem Knoten fixiert, so dass der Appendix zwar offen, der Pöschelring aber leicht gedreht war. Dies habe ich immer so gemacht, aufgrund des Respektes einer Bildung von Knallgas

(Mischung von Wasserstoff mit Sauerstoff). Erst kurz vor Erreichen der Prallhöhe [Höhe, bei welcher der Ballon prall gefüllt ist] hatte ich vor, den Appendix ganz zu öffnen.“

1.1.4 Fahrtverlauf

Am 25. Juni 2011, um 04:42 Uhr, erfolgte der Start des Gasballons Wörner NL-1000/STU, eingetragen als HB-QHJ, ab dem Startplatz in Bad Zurzach. Gemäss Aussage des Piloten betrug die Steiggeschwindigkeit in der Anfangsphase um die 2 m/s. Das folgende Foto zeigt den Start des Ballons und belegt, dass in dieser Phase der Füllansatz (Appendix) des Ballons teilweise hochgezogen war.



Abbildung 2: Der Ballon kurz nach dem Start. Der Füllansatz (Appendix) ist teilweise hochgezogen.



Abbildung 3: Vergrößerter Ausschnitt der Abbildung 2, welcher den Füllansatz (Appendix) zeigt. Der untere Holzring (Pöschelring) ist um ungefähr 90 Grad gedreht.

Nach ca. zwei Minuten Fahrt, noch über dem Startplatz, erhöhte der Pilot durch Abgabe eines Sandsackes und Abwurf des leeren Sackes die Steiggeschwindigkeit. Nach ca. vier bis fünf Minuten Fahrt, über dem Rhein, erhöhte der Pilot die Steiggeschwindigkeit weiter, indem er einen weiteren Sandsack über Bord leerte, wobei ca. ein Drittel davon in die Träufeltasche geleert wurde. Laut Angabe des Piloten erreichte die Steiggeschwindigkeit danach einen Wert von 3-3.5 m/s. Gleichzeitig nahm die horizontale Geschwindigkeit mit zunehmender Höhe zu, so dass der Ballon zunächst ostwärts, danach südostwärts driftete.

Um 04:52 Uhr nahm der Pilot via Funk Kontakt mit der Flugsicherung auf. Er wurde aufgefordert, den Transponder auf Mode C zu stellen, d.h. in eine Betriebsart zu versetzen, die eine Höhenübermittlung einschliesst. Bereits ab 04:46:12 Uhr waren in Intervallen von vier Sekunden die Signale des Transponders aufgezeichnet worden, jedoch fehlte bei diesen die Höhenübermittlung.

Weiter wurde der Pilot nach seiner gewünschten Höhe gefragt, worauf der Pilot seine aktuelle Höhe und Steiggeschwindigkeit durchgab, „*Altitude is seven thousand three hundred feet, climbing with five meters per second (...)*“. Auf erneute Nachfrage nach der gewünschten Höhe gab der Pilot FL 100 an, und dies wurde vom Flugverkehrsleiter umgehend bewilligt.

Der Pilot beschrieb diese Phase der Fahrt wie folgt: „*Bei einer Höhe von ca. 2200 Meter hat mich der Tower in Zürich (Zürich Radar) angefunkelt und mitgeteilt, dass ich erfasst worden sei. In der Folge achtete ich darauf, dass der Ballon-Appendix leicht geöffnet war, damit überschüssiges Gas aus der Ballonhülle entweichen könnte. Der Appendix war soweit geöffnet, dass Gas hätte entweichen können, nicht jedoch, dass Luft hätte eindringen können.*“ Weiter gab er zu Protokoll: „*Der Pöschelring war leicht schräg gestellt beim Start. Später habe ich die Fixierung etwas gelockert, so dass er nicht zu schräg war. Der Winkel war knapp 45 Grad.*“

Um 04:54 Uhr wurde der Pilot aufgefordert, am Transponder den Code 4242 inklusive Mode C einzustellen. Der Pilot bestätigte den Code, stellte aber offenbar

den Transponder nicht auf Mode C, da ihn der Flugverkehrsleiter ca. eine Minute später erneut aufforderte, den Transponder auf Höhenübermittlung zu stellen.

Um 04:57 Uhr kontaktierte der Flugverkehrsleiter den Piloten erneut, um ihm nun auf Schweizerdeutsch zu erklären, dass der Transponder immer noch keine Höhenübermittlung liefern würde und dass er den entsprechenden Mode am Gerät wählen solle. Während der Erklärung schaltete der Pilot den Transponder auf Mode C, und die nun aktivierte Höhenübermittlung wurde vom Flugverkehrsleiter umgehend bestätigt. Die aufgezeichneten Radardaten beinhalten ab 04:57:24 Uhr auch die Druckhöhe (*pressure altitude*), beginnend bei FL 96 (Anlage 1).

Der Pilot beschrieb diese Phase der Fahrt wie folgt: *„Der Turm sagte mir, dass er jetzt meine Höhe sehe (Mode C), danach wollte ich den Appendix ganz öffnen. Gerade als ich öffnen wollte, erfolgte ein dumpfes Geräusch. (...) Ich hatte das Gefühl, dass der Ballon zu diesem Zeitpunkt gar nicht ganz prall war. Ich habe einfach gesehen, dass der Ballon zerrissen wurde.“*

Weiter gab er zu Protokoll: *„Es war kein lauter Knall. Ich sah einfach, dass der Ballon von oben her zerrissen ist. (...) Ich verspürte einfach einen Rucks und die Ballonhülle wurde schmaler. Die Tragkraft verminderte sich urplötzlich und die Hülle wurde so zu einem kleinen Fallschirm geformt.“*

Der Passagier A schilderte dieses Ereignis wie folgt: *„Aus dem Nichts gab es einen dumpfen Knall. Es hörte sich an wie ein gedämpfter Schuss aus einer Waffe. Gleichzeitig verlor der Ballon massiv an Höhe, man kann sagen, dass der Ballon absackte.“*

Auf die Frage, ob das Ereignis bei horizontaler Fahrt oder noch während des Steigens eingetreten war, antwortete der Passagier A wie folgt: *„Weitgehend im Horizontalflug mit vielleicht noch einem geringen Steigen.“*

Laut Aussage des Piloten erfolgte das Platzen der Hülle auf einer Höhe von ca. 2400-2500 m/M. Der Ballon sei dabei sicher nicht mehr viel gestiegen.

Gemäss Aufzeichnung der Radardaten (Anlage 1) stieg der Ballon bis auf eine maximale Druckhöhe von FL 99. Von 04:57:44 bis 04:57:56 Uhr – also während vier Aufzeichnungspunkten – zeigen die Daten eine Druckhöhe von FL 99. Danach, beginnend um 04:58:00 Uhr, zeigen die Daten einen raschen Abstieg.

Die Aufzeichnungen des Multifunktionsgerätes Aircotec Primus (Anlage 1), welche in Intervallen von 20 Sekunden erfolgten, zeigen einen kontinuierlichen Anstieg des Ballons bis zu einer maximalen Höhe von 3149 m bei einem eingestellten QNH von 1023 hPa. Die aus den Daten abgeleitete, aber nicht aufgezeichnete Steiggeschwindigkeit betrug anfänglich ca. 2-2.5 m/s, danach im Mittel ca. 3.5 m/s. Die maximale Steiggeschwindigkeit, welche durch das Gerät festgehalten wurde, betrug 5.3 m/s. Die Daten zeigen keine markante Abflachung der Kurve mit Erreichen der maximalen Höhe.

Der Pilot versuchte in der Folge, durch das Abwerfen von Sandsäcken die Sinkgeschwindigkeit zu verringern. Weiter löste er die Fixierung der einen der beiden Füllansatzhalteleinen, *„(...) damit sich die Fallschirmwirkung [der Hülle] ausbilden konnte. Dies habe ich auch so den Passagieren gesagt. Dann gab es einen Ruck und ich stellte fest, dass der Ballon kurzzeitig nur mit 2 m/s sank. Danach habe ich noch mehr Ballast abgegeben. Ich wollte nicht riskieren, die zweite Füllansatzhalteleine zu kappen, da ich dazu mit dem Messer zwischen den Köpfen der Passagiere hätte hindurchgehen müssen.“*

Die Radardaten (Anlage 1) zeigen einen raschen Abstieg mit annähernd 200 ft Höhenverlust alle vier Sekunden, entsprechend einer Sinkrate von annähernd 3000 ft/min oder ca. 15 m/s.

Die Aufzeichnungen des Multifunktionsgerätes Aircotec Primus (Anlage 1) weisen einen raschen Abstieg mit einer aufgezeichneten maximalen Sinkrate von 16.8 m/s aus. Die aus den Daten abgeleitete, aber nicht aufgezeichnete mittlere Sinkrate betrug ca. 13-14 m/s.

Um 04:59:32 Uhr, als der Ballon gemäss Radaraufzeichnungen ca. FL 60 passierte, fragte der Flugverkehrsleiter den Piloten, ob er bereits am Absteigen sei. Der Pilot antwortete wie folgt: „*Hotel Hotel Juliett isch am Absturz, dr Ballon häts verrisse. Ich probiere ganz viel Ballascht abzgäh, dr Ballon isch verrisse.*“ [Hotel Hotel Juliett ist am Abstürzen, es hat den Ballon zerrissen. Ich versuche sehr viel Ballast abzuwerfen, der Ballon ist zerrissen]. Der Flugverkehrsleiter versprach darauf, sofort Hilfe zu organisieren und die Schweizerische Rettungsflugwacht (REGA) zu alarmieren. Der Pilot erwiderte: „*Mir rüehre die ganzi Zit Ballascht use, dass mr chönn lande, i weiss nit, wie das passiert isch, er isch plötzlich verrisse.*“ [Wir werfen ununterbrochen Ballast raus, um landen zu können, ich weiss nicht, wie das geschehen ist, er ist plötzlich zerrissen]. Dies war der letzte Funk-spruch des Piloten.

Nach Angabe des Piloten warf er insgesamt fünf bis sieben Säcke Sand ab, wobei alle integral, d.h. in gefülltem Zustand inklusive Sack, abgeworfen wurden. Der Passagier A warf ebenfalls einen Sack ab.

Die zerrissene Hülle flatterte wild hin und her und ganze Teile davon wurden abgerissen. Immer wieder instruierte der Pilot die Passagiere, wie sie sich beim Aufprall zu verhalten haben.

Um 05:02 Uhr schlug der Ballon mit grosser Vertikalgeschwindigkeit auf einem Baumstrunk neben einer Scheune am Rande von Fisibach/AG auf. Keiner der Insassen wurde durch den Aufprall aus dem Korb geschleudert.

Der Pilot stieg sofort aus dem Korb und fragte die Passagiere nach ihrem Wohlergehen. Passagier A klagte über Rippenschmerzen, während Passagier B Rückenschmerzen aufwies. In der Folge wurde beschlossen, dass die Passagiere bis zum Eintreffen der Rettungskräfte im Korb verbleiben sollten.

Rasch kamen Augenzeugen hinzu, welche weitere Hilfskräfte aufboten, und bereits nach wenigen Minuten trafen die ersten Rettungskräfte ein. Schliesslich wurden der Passagier B, welcher in der Zwischenzeit das Bewusstsein verloren hatte, und anschliessend auch der Passagier A aus dem Korb geborgen.

Der kurze Zeit später eintreffende Arzt der REGA konnte nur noch den Tod des Passagiers B feststellen. Der Passagier A, welcher erheblich verletzt wurde, und der Pilot, welcher leicht verletzt wurde, wurden in Spitalpflege verbracht.

Einer der integral abgeworfenen Sandsäcke hatte das Dach einer an den Unfallort grenzenden Scheune durchschlagen und unter anderem ein in der Scheune eingelagertes Fahrzeug beschädigt.

Die Untersuchung wurde gleichentags in Zusammenarbeit mit der Kantonspolizei Aargau am Unfallort aufgenommen.



Abbildung 4: Aufschlagstelle des Korbes auf einem Baumstrunk, daneben die schlaaffe Hülle.

1.2 Angaben zum Luftfahrzeug

1.2.1 Allgemeines

Für die Angaben in diesem Kapitel wurden u.a. die offiziellen Dokumente des Herstellers sowie das Standardwerk „*Gone with the Wind – Manual for Gas Ballooning*“ von W. Müller, A. Gerhardt und G. Hurck, Ausgabe September 2002, verwendet. Im Folgenden wird darauf mit dem Symbol [1] referenziert.

1.2.2 Aufbau des Ballons

Beim Ballon Wörner NL-1000/STU handelt es sich um einen netzlosen Gasballon mit einem Nennvolumen von 1000 m³. Das tatsächliche Volumen kann materialbedingt bis zu 5 % grösser sein. Damit kann der Ballon ein maximales Volumen von 1050 m³ aufweisen. Nach Angaben des Herstellers liegt das tatsächliche Volumen erfahrungsgemäss näher bei 1050 m³ als bei 1000 m³. Die Hülle besteht aus beidseitig beschichtetem und daher gasdichtem, weitgehend unelastischem Kunstfasergewebe. Sie wird aus 28 einzelnen Bahnen gefertigt.

Am Nordpol der Hülle befindet sich die Entleeröffnung (Parachute-Öffnung), welche durch eine Art Schirm aus Hüllenmaterial, Parachute genannt, abgedichtet wird. Der Parachute kann mittels einer Leine (Parachuteleine), welche durch die Hülle hindurch und via Füllansatz aus der Hülle hinaus zum Korb verläuft, geöffnet werden. Dies erlaubt ein dosiertes Ablassen von Traggas. Der Rand der Parachute-Öffnung ist durch ein in das Hüllenmaterial eingelassenes Stahlseil (Liekleine) gegen Einreissen gesichert.

Der Füllansatz (Appendix) am Südpol der Hülle besteht aus einem zylindrischen Schlauch aus Hüllenmaterial, welcher sowohl am oberen wie auch am unteren Ende je in einem Holzring endet. Der Füllansatz dient einerseits dem Füllen des Ballons vor dem Start, andererseits dem Entweichen von überschüssigem Traggas während der Fahrt.

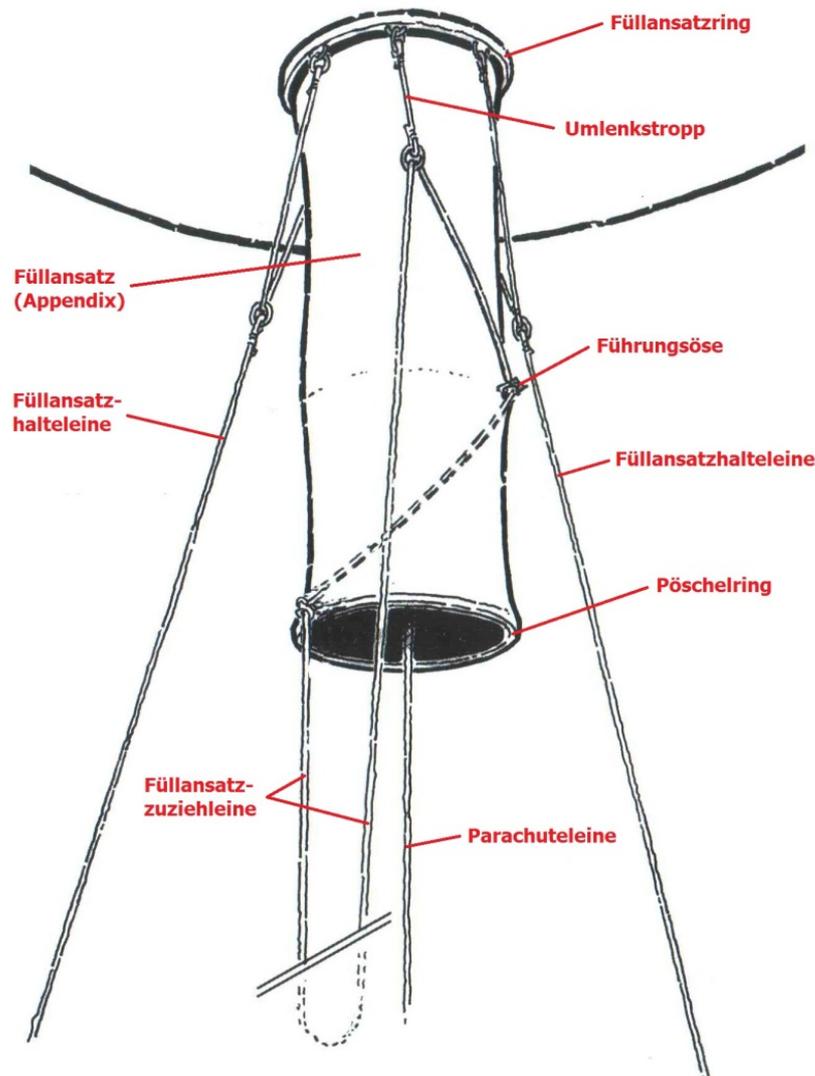


Abbildung 5: Füllansatz (Appendix) und verschiedene Leinen (Quelle [1]).

Der Füllansatz kann mittels einer Leine (Füllansatzzuziehleine) geschlossen respektive geöffnet werden. Die Leine verläuft spiralförmig vom unteren der beiden Holzringe (Pöschelring) via eine Führungsöse in halber Höhe des Füllansatzes zu einem Umlenkstropp, welcher am oberen der beiden Holzringe (Füllansatzring) befestigt ist. Von dort führt die Leine in den Korb und dann wieder zurück an den Ausgangspunkt am Pöschelring. Durch Ziehen an demjenigen Teil der Leine, welcher über den Umlenkstropp führt, wird der Pöschelring gedreht und gleichzeitig einseitig nach oben gekippt. Dadurch schliesst sich der Füllansatz. Durch Ziehen am anderen Teil der Leine öffnet sich der Füllansatz wieder.

Weiter führen vom Füllansatzring zwei Leinen (Füllansatzhalteleinen) zum Korb. Durch Fixierung im Korb verhindern sie, dass sich bei einem starken Fall oder bei einer Schleiffahrt am Boden die untere Kalotte der Hülle in die obere hineinstülpt.

30 Grad unter dem Äquator ist der Lastgurt auf die Hülle aufkonfektioniert. Von ihm aus verlaufen die Hüllenseile zum Korbring, an welchem mittels der Korbseile der Korb befestigt wird.

Der netzlose Gasballon Wörner NL-1000/STU kann mit verschiedenen Körben betrieben werden. Im vorliegenden Fall kam ein sog. Alpenkorb zum Einsatz, welcher besonders leicht ist.

- 1.2.3 Spannung und Mindestreissfestigkeit der Hülle
- Gemäss Angabe des Herstellers und laut [1] beträgt die spezifische Spannung der Hülle bei prall gefüllter Hülle und offenem Appendix rund 2.5 daN/50 mm.
- Die jährlich zu kontrollierende Mindestreissfestigkeit der Hülle beträgt laut Fahrt- und Betriebshandbuch 30 daN/50 mm.
- Bei der Musterzulassung des Ballons wurde der Nachweis erbracht, dass die Liekleine rechnerisch eine 5.8-fache Sicherheit gegen Bruch bei der höchsten, unter Normalbedingungen vorkommenden Belastung aufweist.
- 1.2.4 Fahrt- und Betriebshandbuch
- Das Fahrt- und Betriebshandbuch des Ballons Wörner NL-1000/STU enthält im Kapitel „1.2. Hülle“, Unterkapitel „1.2.4. Füllansatz“ die folgende Passage:
- „Während der Fahrt ist der Füllansatz offen, damit sich das Füllgas bei Erwärmung oder bei sinkendem Aussendruck (z.B. Steigen) ausdehnen kann.“*
- Weiter hält das Buch in Kapitel „4.4. Start“ fest:
- „Der Start darf unter anderem nur durchgeführt werden, wenn (...) Füllansatz-zuziehvorrichtung funktioniert und der Füllansatz **offen** ist.“* [Fettdruck im Original]
- Im Kapitel „4.5. Fahrt“, Unterkapitel „4.5.1. Füllansatzkontrolle“ heisst es weiter:
- „Sofortige Kontrolle nach dem Start, ob der Füllansatz vorschriftsmässig geöffnet ist.“*
- 1.2.5 Traggas und Füllgrad
- Der Ballon Wörner NL-1000/STU kann mit Wasserstoff, Helium oder Leuchtgas betrieben werden. Im vorliegenden Fall wurde Wasserstoff als Traggas verwendet.
- Nach dem Unfall gab der Pilot zu Protokoll, dass er den Füllgrad beim Start auf 73-75 % schätzte. Der Platzchef gab eine Schätzung von 75±5 % an. Der Hersteller schätzte den Füllgrad aufgrund eines Fotos, welches den Ballon kurz vor dem Start zeigt, auf 73-83 %.
- Eine exakte Bestimmung der Gasmenge, welche am Unfalltag zur Füllung des Ballons bezogen worden war, war nicht möglich.
- 1.2.6 Berechnung der Masse beim Start
- Der Pilot erstellte keine schriftliche Zusammenstellung bezüglich der totalen Masse des Ballons beim Start.
- Für eine Rekonstruktion wurden die Massen des Piloten und der beiden Passagiere gemäss Mitteilung des Piloten übernommen, welcher angab, die beiden Passagiere vor der Fahrt nach ihrem Gewicht befragt zu haben.
- Die Daten der Bestandteile des Ballons wurden dem aktuellen Wägebericht entnommen.
- Die restlichen Daten wurden teils durch explizite Wägung, teils durch Schätzung bestimmt.
- Die Rekonstruktion der totalen Masse beim Start ergab so ungefähr 854 kg. Aufgrund von Unsicherheiten bei der Ermittlung der zugrunde liegenden Werte scheint für die tatsächliche Masse beim Start eine Bandbreite von ±25 kg um diesen Wert als angemessen.
- Die Höchstmasse des Ballons Wörner NL-1000/STU beträgt 1160 kg.

1.2.7 Feststellungen am Wrack auf der Unfallstelle

Der Korb wurde durch den Aufprall auf dem Baumstrunk stark deformiert und der Korbboden teilweise eingedrückt. Der Korb war ordnungsgemäss mit dem Korbring und dieser mit der Hülle verbunden. Einige der Hüllenseile wurden von den Rettungskräften durchtrennt, um damit den Korb auf dem Baumstrunk sichern zu können.

Eine der beiden Füllansatzhalteleinen war mit einem Knoten an der Griffgirlande im Korb fixiert. Der Knoten liess sich aufgrund des grossen Zuges, welcher auf die Leine gewirkt haben musste, nicht lösen, so dass ein Stück der Griffgirlande herausgeschnitten werden musste. Die andere Füllansatzhalteleine war nicht fixiert.

Derjenige Teil der Füllansatzzuziehleine, welcher zum Schliessen des Füllansatzes dient, war ebenfalls mit einem Knoten an der Griffgirlande fixiert. Auch dieser Knoten liess sich nicht öffnen, so dass ebenfalls ein Stück der Griffgirlande herausgeschnitten werden musste.

Die Hülle war teilweise zerfetzt und wies einen markanten Längsriss von der Parachute-Öffnung bis weit unter den Lastgurt auf. Auch im Bereich des Füllansatzes war die Hülle zerrissen. Die Liekleine war gerissen.

Verschiedene Fetzen der Hülle konnten in der näheren und weiteren Umgebung der Unfallstelle aufgefunden werden. In der unmittelbaren Umgebung der Unfallstelle sowie teilweise auch im Innern der Hülle konnten viele kleine, lose Klebebandstückchen gefunden werden, welche zur Abdeckung defekter Stellen an der Hülle gedient haben mussten.

Im Korb beziehungsweise in der unmittelbaren Umgebung des Korbes wurden insgesamt drei Bidons mit Wasser und neun gefüllte sowie vier leere Sandsäcke vorgefunden.

1.2.8 Betriebsstunden und Unterhalt

Der Ballon HB-QHJ mit der Luftfahrzeug-Werknummer 1075 war bereits im Jahr 2002 in einen Unfall verwickelt, bei welchem die Hülle, der Korbring und auch der Alpenkorb zerstört wurden (Schlussbericht Nr. 1809 des BFU). Der Ballon wies damals 63:19 Betriebsstunden, 10 Füllungen und 13 Landungen auf.

Im Jahr 2003 wurden eine fabrikneue Hülle mit Werknummer 1078, ein neuer Alpenkorb mit Werknummer 5087 sowie ein neuer Korbring mit Werknummer 4061 angeschafft. Obwohl die Eintragung des Ballons HB-QHJ nach dem Unfall im Jahr 2002 kurzfristig gelöscht worden war, wurde der neue Ballon, der vollständig aus neuen Komponenten bestand, wieder unter dem Eintragungszeichen HB-QHJ zugelassen und es wurde ihm die Luftfahrzeug-Werknummer 1075 des zerstörten Ballons zugewiesen. Nach Angabe des Bundesamtes für Zivilluftfahrt sei ein solches Vorgehen gestützt auf die damals gültige Technische Mitteilung TM-13.020-20 des BAZL möglich gewesen. Diese TM wurde später allerdings nicht mehr angewendet.

Die Betriebsstunden, Anzahl Füllungen und Anzahl Landungen wurden ausgehend von den alten Werten weitergeführt.

Mit dieser Zählweise wies das Ballonsystem, bestehend aus Hülle, Alpenkorb und Korbring, zum Zeitpunkt des Unfalls 1414:08 Betriebsstunden, 171 Füllungen und 196 Landungen auf.

Die Ballonhülle mit Werknummer 1078 wies folglich zum Zeitpunkt des Unfalls 1350:49 Betriebsstunden auf.

Die letzte Jahreskontrolle des Ballonsystems, bestehend aus Hülle, Alpenkorb und Korbring, fand am 10. März 2011 bei 1380:25 Betriebsstunden gemäss beschriebener Zählweise statt. Es wurden weder Beanstandungen gemacht noch Reparaturen durchgeführt. Insbesondere wurde die Hülle von Hand auf ihre Reissfestigkeit hin überprüft und für in Ordnung befunden. Auch die Liekleine wurde überprüft und für lufttuchtig befunden.

Die Unfallfahrt war die achte Fahrt seit dieser Kontrolle. Es wurden im Fahrtenbuch keine Beanstandungen seit dieser Kontrolle verzeichnet.

1.2.9 Letzte Fahrt vor der Unfallfahrt

Die letzte Fahrt des Ballons HB-QHJ vor der Unfallfahrt fand am 15./16. Juni 2011 ab dem Stadion Letzigrund in Zürich statt. Es handelte sich dabei um einen Aufstieg mehrerer Ballone um Mitternacht. Der in den Unfall involvierte Pilot nahm an diesem Anlass ebenfalls teil, allerdings in einem anderen Ballon.

Am 15. Juni um 21:22 Uhr wurde von ihm das folgende Bild der fertig aufgerüsteten Ballone aufgenommen.



Abbildung 6: Ballon HB-QHJ und weitere Ballone im Stadion Letzigrund, 15. Juni 2011, 21:22 Uhr.

Gemäss seiner Aussage standen die prallgefüllten Ballone mit teilweise geschlossenem Appendix resp. angehängtem Füllschlauch lange Zeit in der prallen Sonne. Die dadurch bedingte Ausdehnung des Traggases habe möglicherweise zu einer Überfüllung der Ballone geführt. So sei auf obigem Bild – allerdings nur im Kleinformat seiner Kamera – ungefähr in 11 Uhr Position des ersten „E“ von „ED.SPELTERINI“ eine Beule oder Ausbuchtung zu sehen.



Abbildung 7: Eingescannte Version des Originalfotos in Kleinformat.

Der entsprechende Bereich der Hülle (entspricht Bahn 9 im Risschema in Anlage 2) wurde nach dem Unfall eingehend untersucht. Aufgrund der geringen Elastizität der Hülle würde sich eine Überfüllung gemäss Hersteller in einer Delaminierung des Hüllenmaterials manifestieren. Es konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Gemäss Angabe des Piloten des Ballons HB-QHJ auf dieser letzten Fahrt vor der Unfallfahrt verliefen sowohl die Vorbereitungen wie auch die Fahrt und das Ab-rüsten ereignislos und ohne Zwischenfälle.

Das durchfahrene Gebiet wurde nachträglich bezüglich Niederschlägen und speziellen Wettererscheinungen überprüft. Es konnte nichts Auffälliges gefunden werden.

Der Platzchef führte nach eigener Angabe ein oder zwei Tage nach dieser Fahrt in der Ballonhalle in Zurzach die Nachkontrolle durch. Dabei habe er insbesondere die Liekleine kontrolliert. Alles sei in Ordnung gewesen. Die Liekleine habe er auch nochmals am Morgen vor dem Aufrüsten für die Unfallfahrt durch Abtasten kontrolliert.

1.2.10 Problematik Beschädigung Liekleine

Für dieses Ballonmuster sind mehrere Fälle bekannt, bei welchen die Liekleine entweder durch unsachgemässes Verpacken der Hülle oder durch Aufrüsten mittels der „Methode des Draufsitzens“ geknickt und dadurch vorgeschädigt wurde. Der Hersteller erliess darauf Weisungen, wie die Hülle verpackt werden muss, um solche Beschädigungen zu vermeiden. Zudem wurde ein Verpackungsschutz entwickelt, welcher über den Rand der Parachute-Öffnung gestülpt werden kann, um so ein Knicken der Liekleine zu verhindern. Auch wurde von der Befüllung mittels der „Methode des Draufsitzens“ abgeraten.

Drei Fälle sind bekannt, bei welchen die Liekleine nach aufgetretener Vorschädigung während der Fahrt riss. In allen diesen Fällen trat ein erheblicher Traggasverlust ein, da durch das Reißen der Liekleine der Parachute nicht mehr passgenau in der Parachute-Öffnung lag und somit die Hülle nicht mehr sauber abgedichtet wurde. In keinem der Fälle trat ein Einreißen des Hüllenmaterials auf.

Die Hülle weist konstruktiv vier Lagen Ballonstoff in dem an die Liekleine angrenzenden Bereich auf. Diese Aufdoppelungen sind gemäss Angaben des Herstellers in der Lage, die unter Normalbedingungen auftretenden Spannungen selbst

nach einem Versagen der Liekleine aufzunehmen. Ein Einreißen der Hülle von der Parachute-Öffnung her sollte daher in einem solchen Fall nicht möglich sein.

Die neueren Ballone dieses Musters wurden mit Liekleinen aus Kevlar ausgerüstet, welche bezüglich dieser Problematik unempfindlicher sind.

1.3 Technische Untersuchungen

1.3.1 Detaillierte Untersuchung des Wracks

Der Ballon und insbesondere die Hülle wurden in Anwesenheit des Herstellers einer detaillierten Untersuchung unterzogen. Dabei konnten u.a. die folgenden Feststellungen gemacht werden:

- Der Korb wurde im unteren Bereich einer Seitenwand von einem Gegenstand mit ca. 15 cm Durchmesser durchdrungen.
- Der Korbboden war teilweise eingedrückt und die Leisten gebrochen.
- Der Korbring war ohne sichtbare Beschädigung. Die beiden Füllansatzhalteleinen wurden durch elastische Gummiseile am Korbring geführt.
- Beide Teile der Füllansatzzuziehleine wurden durch einen losen Stahlring mit Innendurchmesser 26 mm geführt.
- Der Füllansatz wurde ca. 60 cm oberhalb des Pöschelrings bis auf ein Nahtband horizontal abgerissen.
- Die Führungsöse in halber Höhe des Füllansatzes wurde abgerissen.
- Die Schraube der Befestigung des Umlenkstropps am Füllansatzring wurde abgebrochen und der Stropp ausgerissen.
- Die Länge des Teils der Füllansatzzuziehleine von der Befestigung am Pöschelring über den Umlenkstropp bis zum Knoten an der Griffgirlande betrug ca. 7.25 m.
- Die Hülle wies verschiedene Risse in Längs- und Querrichtung auf. Ein detailliertes Schema über die Schäden der Hülle wurde erstellt (Anlage 2) und die gefundenen Fetzen nach Möglichkeit wieder eingepasst.
- Der markanteste Riss verlief in Bahn 6 (Nummerierung willkürlich) von ca. 60 Grad unterhalb des Äquators bis nach oben zur Parachute-Öffnung.
- Der Riss der Liekleine lag 14 cm neben der Stelle, wo der markante Riss die Parachute-Öffnung erreichte.
- Die Bahnen 6, 5, 4 und 3 wiesen Längs- und Querrisse im Mittelteil, d.h. im Bereich zwischen 30 Grad ober- und unterhalb des Äquators, auf.
- In diesem Bereich fehlten einige Stücke der Hülle.
- Im oberen Teil der Hülle wies Bahn 6 im Wesentlichen drei vertikale Hauptrisse auf.
- Die restlichen Bahnen wiesen keine sichtbaren Beschädigungen vom Unfall auf. Es gab etliche Reparaturstellen.
- Der Parachute wies keine sichtbaren Beschädigungen auf.
- Im Bereich um die Parachute-Öffnung fanden sich viele Stellen, welche von innen mit kleinen Klebebandstückchen abgeklebt waren.

- Es handelte sich dabei um Klebebandstückchen von der Art, wie sie auch an der Unfallstelle gefunden wurden.
- In einigen Bahnen wurden stellenweise Verfärbungen festgestellt.

1.3.2 Vergleichsmessungen

An einem baugleichen Ballon wurden zum Vergleich die folgenden Distanzen ermittelt:

- Bei einem Füllgrad, wie er in etwa demjenigen vor der Unfallfahrt entspricht, beträgt die Distanz von der hochgezogenen Griffgirlande im Korb zum Füllansatzring ca. 7.25 m.
- Aufgrund der zunehmend kugelförmigen Gestalt der Hülle nimmt diese Distanz mit zunehmendem Füllgrad zu.
- Bei praller Hülle beträgt die Distanz von der hochgezogenen Griffgirlande im Korb zum Füllansatzring ca. 7.55 m.
- Die Länge des Umlenkstropfs beträgt ca. 0.2 m.

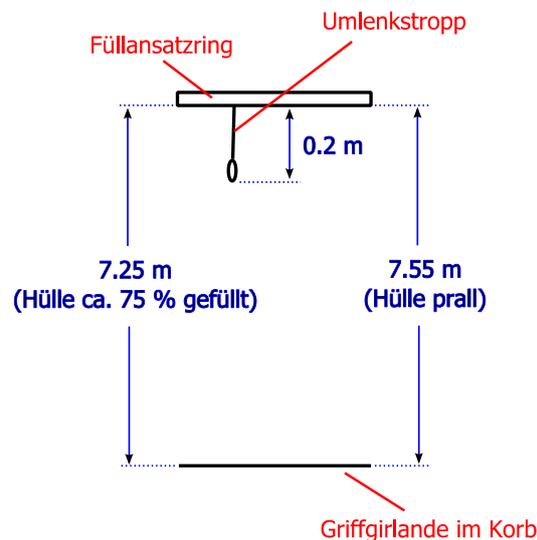


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Ergebnisse der Vergleichsmessungen.

Diese Messungen wurden unabhängig auch vom Hersteller ebenfalls an einem baugleichen Ballon durchgeführt und es wurden dieselben Ergebnisse gefunden.

1.3.3 Reissfestigkeit der Hülle

Zur Überprüfung der Reissfestigkeit der Hülle wurden Materialproben an verschiedenen Stellen der Hülle entnommen und im Labor gemäss der Anweisung des Herstellers geprüft.

Generell wurde festgestellt, dass die Reissfestigkeit erwartungsgemäss in Kett- richtung¹ grösser war als in Schussrichtung². Auf den Ballon bezogen bedeutet

¹ Webtechnischer Fachbegriff: Kettfäden sind die in einer Webmaschine in Längsrichtung eingespannten Fäden.

² Webtechnischer Fachbegriff: Die Schussrichtung bezeichnet die Richtung der Schussfäden. Diese Fäden liegen in einem Gewebe rechtwinklig zu den in der Webmaschine eingespannten Kettfäden.

dies, dass die Reissfestigkeit in Längsrichtung (Nordpol-Südpol) grösser war als in Querrichtung (Umfang).

Die tiefsten Werte wurden in Bahn 6 unterhalb der oberen Quernaht (liegt bei 30 Grad über dem Äquator) gemessen. Einzelne Messergebnisse lagen dort in Schussrichtung knapp unter der vom Hersteller spezifizierten Mindestreissfestigkeit von 30 daN/50 mm. Der tiefste Wert lag bei 27.9 daN/50 mm. Das Mittel aller in diesem Bereich entnommener Proben lag in Schussrichtung bei 31.5 daN/50 mm.

Alle anderen Messwerte lagen über der Mindestreissfestigkeit von 30 daN/50 mm.

1.3.4 Liekleine

Zur Analyse des Bruchs und des generellen Zustands der Liekleine wurde diese aus dem Hüllensaum gezogen und im Labor untersucht.

Die Untersuchung der Bruchstelle zeigte, dass sämtliche sichtbaren Einzeldrähte einen duktilen Gewaltbruch aufwiesen. Anzeichen für vorbestandene Schädigungen konnten nicht festgestellt werden. Das Reißen der Liekleine war die Folge einer mechanischen Überlast.

Das Seil wies neben der Bruchstelle einige Knickstellen auf. Bei der Analyse einer dieser Knickstellen konnten keine gebrochenen Einzeldrähte festgestellt werden.

Der Prüfbericht hält abschliessend fest: *„Da die Umfangsspannung in einem Ballon (idealisiert betrachtet) homogen ist, ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Liekleine während dem Normalflug spontan überlastet wurde.“*

1.3.5 Richtungsverlauf der Hüllennisse

Zur Analyse des Richtungsverlaufs der Hüllennisse wurden verschiedene Rissstellen von einem Textilsachverständigen im Labor mikroskopisch untersucht.

Die Untersuchung des markanten Hauptrisses in Bahn 6 zeigte, dass der Riss mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit ausgehend vom oberen Bereich der Hülle einerseits nach ganz oben bis zur Parachute-Öffnung, andererseits nach unten bis unter den Lastgurt verlief.

1.4 Meteorologische Angaben

1.4.1 Allgemeine Lage

Am Boden erstreckte sich ein Hoch von der Biskaya über Frankreich nach Tschechien. Gleichzeitig floss Tropikluft vom Ostatlantik zur Nordsee und baute einen kräftigen Rücken auf. Seine Achse erstreckte sich um Mitternacht von den Britischen Inseln nach Galizien. Die Nordschweiz befand sich auf der Vorderseite dieses Rückens unter einem breiten Band mit Höhenwind aus Nordwest.

1.4.2 Lokales Wetter zur Unfallzeit

Der Südrand der Tropikluft überquerte um Mitternacht Dijon und erreichte um 06 UTC den Bodensee. Auf der Vorderseite der Warmfront zogen aus Nordwesten Wolkenfelder über den Hoahrhein zu den östlichen Voralpen. Laut der Flugplatzwettermeldung (*aerodrome routine meteorological report – METAR*) von Zürich-Kloten um 02:50 UTC lag die Untergrenze der Wolken auf rund 8200 ft AMSL, entsprechend 2500 m AMSL. Die Altocumuli bedeckten den Himmel zu 5-7/8.

Laut METAR war die Sicht während der zweiten Nachthälfte und des frühen Morgens immer grösser als 10 km. Am Flughafen Zürich-Kloten wurde um Mitternacht eine Sichtweite von 35, um 06 UTC eine solche von 25 km beobachtet. Basel-Binningen verzeichnete um 06 UTC eine Sichtweite von 40 km.

Entlang des Rheins lagen Temperatur und Taupunkt zur Zeit des Unfalls bei 8 respektive 7 Grad Celsius. Das QNH betrug 1027 hPa.

1.4.3 Wind

Am Startplatz wehte ein schwacher Wind aus Nordost mit weniger als 3 Knoten.

Oberhalb einer rund 300 m mächtigen Grundschicht drehte der Wind über Südwest auf West. Um 03 UTC betrug die Windgeschwindigkeit unterhalb von 2500 m AMSL 3 bis 6 Knoten. Oberhalb von 2900 m AMSL drehte der Wind auf Nordwest und wehte mit 20 Knoten.

Um 03 UTC wurde auf dem Jungfraujoch in 3580 m Höhe ein mittlerer Wind aus Nordwest mit 20 Knoten verzeichnet. Er war vergleichbar mit dem Wind, der sich aus dem Mitternachtsaufstieg der Radiosonde von Payerne ergab.

1.4.4 Vertikale Verteilung von Temperatur und Druck

Der Vergleich mit Gipfelstationen zeigt, dass das folgende Profil der Radiosonde von Payerne zumindest über den Alpen auch für 03 UTC repräsentativ war:

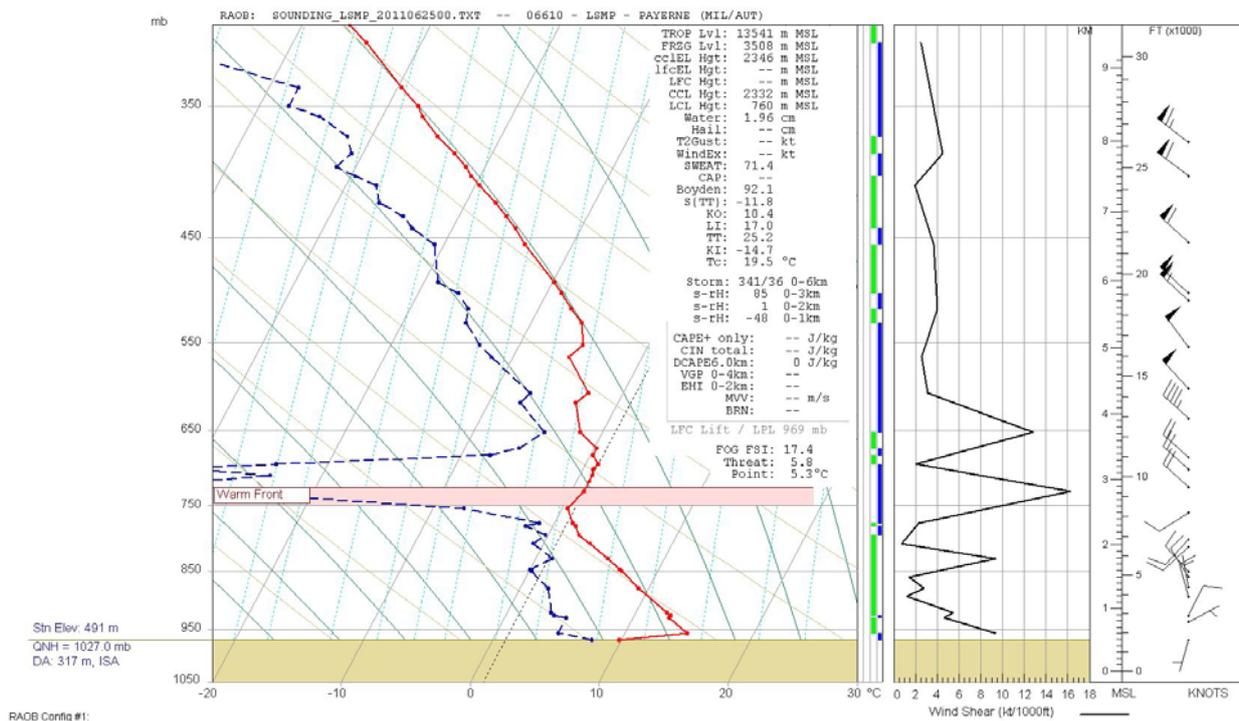


Abbildung 9: Mitternachtsaufstieg der Radiosonde Payerne (25. Juni 2011, 00 UTC). Verlauf von Temperatur (rot) und Taupunkt (blau) in Abhängigkeit des Druckes (mb=hPa).

Die nächtliche Bodeninversion reichte auf 600 m AMSL. Anschliessend verlief die Temperaturabnahme bis rund 2200 m AMSL beinahe entlang der Trockenadiabate. Der mittlere vertikale Gradient betrug knapp minus 9 Grad pro 1000 Höhenmeter. Zwischen 2200 und 2600 m AMSL nahm die Temperatur um 5 Grad pro 1000 Höhenmeter ab. Bis auf 3200 m AMSL folgte eine 600 Meter mächtige isotherme Schicht mit einer Temperatur von rund 1 Grad Celsius.

Aufgrund einer Analyse benachbarter Radiosondierungen lag die Temperatur auf 700 hPa zum Unfallzeitpunkt im Unfallgebiet vermutlich nahe von 0 Grad Celsius, in einem Bereich von -5 bis 2 Grad Celsius.

1.5 Angaben zu den barometrischen Höhenmessern

1.5.1 Allgemeines

Barometrische Höhenmesser beruhen auf dem Prinzip, dass der aktuell gemessene Luftdruck zu dem an der Nebenskala eingestellten Basis-Luftdruck in Relation gesetzt und so die entsprechende Höhe über der gewählten Basis-Druckfläche angezeigt wird.

Wird an der Nebenskala der Standarddruck 1013.25 hPa eingestellt, so zeigt der Höhenmesser die Druckhöhe (*pressure altitude* – PA) an. Die Eichung der Anzeige erfolgt dabei auf der Grundlage der Bedingungen der internationalen Standardatmosphäre (ISA), welche auf die sog. internationale Höhenformel führen

$$p_h = 1013.25 \text{ hPa} \left(1 - \frac{0.0065}{288.15 \text{ m}} h \right)^{5.256} \quad (1)$$

Jedem gemessenen Druck p_h (in hPa) wird darüber eine entsprechende Druckhöhe h (in m) zugeordnet, welche am Höhenmesser angezeigt wird. Umgekehrt entspricht somit jede angezeigte Druckhöhe h einem gemessenen Druck p_h gemäss obiger Formel.

Wird an der Nebenskala ein anderer denn Standarddruck 1013.25 hPa eingestellt, so ändert sich die Höhenanzeige pro 1 hPa Änderung der Basis-Druckfläche um ca. 8.3 m bzw. ca. 27.3 ft. Dies entspricht dem Höhenabstand zweier Druckflächen mit 1 hPa Druckunterschied rund um den Standarddruck 1013.25 hPa gemäss Formel (1).

1.5.2 Multifunktionsgerät Aircotec Primus

Der Höhenmesser des Multifunktionsgerätes Aircotec Primus war auf ein QNH von 1023 hPa eingestellt. Somit waren sämtliche Höhenangaben im Vergleich zu einer Anzeige bezüglich Standarddruck 1013.25 hPa um ca. 81 m bzw. ca. 266 ft höher (Anlage 1).

Am Startplatz zeigte der Höhenmesser 309 m an. Dies entsprach somit einer Druckhöhe von ca. 228 m. Gemäss Formel (1) betrug folglich der Druck am Startplatz ca. 986 hPa.

Die maximale Höhe gemäss Aufzeichnung betrug 3149 m, was einer Druckhöhe von ca. 3068 m bzw. ca. 10 066 ft entsprach. Gemäss Formel (1) wurde also ein minimaler Druck von ca. 695 hPa gemessen. Da die Aufzeichnungen in Intervallen von 20 s erfolgten, könnte die tatsächlich erreichte maximale Höhe auch etwas höher gewesen sein. Der Verlauf der Daten im Bereich der maximalen Höhe ist in Abbildung 10 dargestellt.

Die Höhenausgabe des Gerätes wurde nach dem Unfall überprüft und lag innerhalb einer Genauigkeit von wenigen Metern.

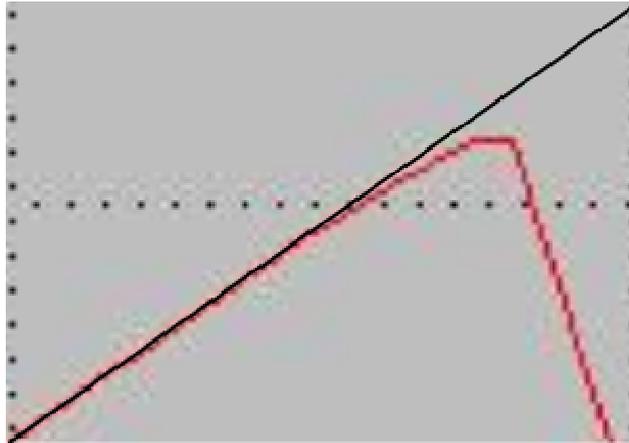


Abbildung 10: Im Bereich der maximalen Höhe vergrösserter Ausschnitt der aufgezeichneten Höhen gemäss Multifunktionsgerät Aircotec Primus. Die Aufzeichnungen erfolgten in Intervallen von 20 s. Die gesamte Breite des Ausschnitts entspricht ca. 300 s, die gesamte Höhe ca. 1000 m, wobei die Höhen bei einer Druckhöhe von ca. 2370 m beginnen. Die an die Daten gelegte Tangente (schwarz) entspricht somit einer konstanten Steiggeschwindigkeit von ca. 3.3 m/s.

1.5.3 Transponder

Der Höhenggeber des Transponders ist fix auf Standarddruck 1013.25 hPa eingestellt, weshalb die übermittelte Höhe stets der Druckhöhe entspricht.

Die Höhenausgabe wird auf die nächsten 100 ft gerundet und erfolgt in Flugflächen (FL). Gemäss ICAO Anhang 10, Band 4, „SSR automatic pressure-altitude transmission code“, erfolgt der Wechsel zwischen zwei FL immer genau in der Mitte zwischen den entsprechenden Höhen. FL 99 beispielsweise wird bei einer Druckhöhe von 9850 bis 9950 ft ausgegeben. Analog für alle anderen Flugflächen.

Die maximale Druckhöhe gemäss Radaraufzeichnung betrug FL 99 (Anlage 1). Somit erreichte der Ballon laut diesen Daten eine maximale Druckhöhe zwischen 9850 und 9950 ft bzw. ca. 3002 und 3033 m. Gemäss Formel (1) entsprach dies einem minimalen gemessenen Druck zwischen ca. 698 und 701 hPa. Da die Aufzeichnungen in Intervallen von 4 s erfolgten, könnte die tatsächlich erreichte maximale Druckhöhe auch geringfügig höher gewesen sein.

Die Höhenausgabe des Transponders wurde nach dem Unfall überprüft und lag innerhalb der zulässigen Toleranz.

1.6 Angaben zu den physikalischen Gesetzmässigkeiten

1.6.1 Allgemeines

Für die Angaben in diesem Kapitel wurde [1] als Referenz verwendet.

Ausgangspunkt sämtlicher Überlegungen und Formeln sind die in guter Näherung erfüllten Annahmen, dass erstens sowohl das Traggas Wasserstoff wie auch die den Ballon umgebende Luft als ideales Gas betrachtet werden können, und dass zweitens das Traggas und die Luft stets identischen Druck wie auch identische Temperatur aufweisen.

Die Zustandsgleichung idealer Gase besagt, dass Druck p , Volumen V und Temperatur T eines idealen Gases stets

$$\frac{p \cdot V}{T} = C_{\text{Gastyp}} \quad (2)$$

erfüllen, wobei C_{Gastyp} eine Konstante ist, welche einzig von der Art des Gases abhängt. Die Temperatur T muss dabei in Kelvin angegeben werden.

Wird anstelle des Volumens V die Dichte ρ betrachtet, so kann Formel (2) alternativ in der Form

$$\rho = D_{\text{Gastyp}} \frac{p}{T} \quad (3)$$

geschrieben werden, wobei D_{Gastyp} eine andere, nur vom Gastyp abhängige Konstante ist. Für Wasserstoff beträgt $D_W = 0.0242 \text{ kgK/m}^3\text{hPa}$, für Luft $D_L = 0.348 \text{ kgK/m}^3\text{hPa}$.

Die Auftriebskraft F_A eines Ballons ergibt sich gemäss dem Archimedischen Prinzip aus dem Gewicht der durch den Ballon verdrängten Luft. Mit V dem aktuellen Volumen des Ballons und g der Erdbeschleunigung entspricht dies in Formeln

$$F_A = (\rho_L - \rho_W) \cdot V \cdot g \quad (4)$$

wobei $(\rho_L - \rho_W)$ die Differenz der Dichten der Umgebungsluft und des Traggases bezeichnet.

Es ist üblich, Formel (4) durch die Erdbeschleunigung g zu dividieren, so dass nicht die Auftriebskraft, sondern die maximale Masse, welche der Ballon in der Schwebelage zu halten vermag, resultiert. Diese Grösse wird als Tragfähigkeit m_T bezeichnet

$$m_T = \frac{F_A}{g} = (\rho_L - \rho_W) \cdot V \quad (5)$$

Werden die beiden Dichten in dieser Formel je durch Formel (3) ausgedrückt, so resultiert alternativ der folgende Ausdruck

$$m_T = (D_L - D_W) \cdot V \cdot \frac{p}{T} \quad (6)$$

wobei die Annahme, dass die Umgebungsluft und das Traggas sowohl identischen Druck wie auch identische Temperatur aufweisen, verwendet wurde. Die Differenz der beiden Konstanten ergibt sich für Wasserstoff zu $(D_L - D_W) = 0.3238 \text{ kgK/m}^3\text{hPa}$.

Ist die aktuelle Masse m_B des Ballons (Hülle, Korb, Insassen, Ballast, Ausrüstung) kleiner als m_T , steigt der Ballon, ist sie grösser, sinkt er. Im Schwebegleichgewicht sind die beiden Massen gleich gross. Die Differenz $m_T - m_B$ wird Steigkraft genannt, obwohl sie eine Masse und keine Kraft darstellt.

Eine während des Aufstiegs mit einem unprallen Ballon empirisch gefundene Formel ([1], S. 70 bzw. 180) gibt den folgenden Zusammenhang zwischen der Steigkraft $m_T - m_B$ und der resultierenden Steiggeschwindigkeit v

$$m_T - m_B = 3.8 \frac{\text{kg}\cdot\text{s}^2}{\text{m}^2} \cdot v^2 \quad (7)$$

Eine Steigkraft von 15 kg führt also beispielsweise zu einer Steiggeschwindigkeit von rund 2 m/s. Formel (7) gilt nur für einen unprallen Ballon und ergibt lediglich Richtwerte.

Gemäss Angabe des Piloten betrug die Steiggeschwindigkeit kurz nach dem Start rund 2 m/s. Mit obiger Formel entsprach dies somit einer Steigkraft beim Start von rund 15 kg oder rund einem Sack Sand. Diese Abschätzung ist konsistent mit der späteren Steiggeschwindigkeit von 3-3.5 m/s, welche aus den Daten des Multifunktionsgerätes Aircotec Primus abgeleitet werden kann, sowie der Angabe des Piloten über den getätigten Ballastabwurf von rund 5/3 Sack Sand, entsprechend rund 23 kg.

Unter Berücksichtigung der Angaben aus Abschnitt 1.2.3 folgt daher, dass die Masse m_{B-SG} des Ballons im Schwebegleichgewicht beim Auswiegen ca. 869 kg betrug.

Wird wieder von einer Unsicherheit dieser Angabe von ± 25 kg ausgegangen, so lag die Masse im Schwebgleichgewicht beim Auswiegen zwischen 844 und 894 kg.

1.6.2 Füllgrad

Sind Druck p_S und Temperatur T_S am Startplatz sowie die Masse m_{B-SG} des Ballons im Schwebgleichgewicht beim Auswiegen bekannt, so kann unter Berücksichtigung des totalen Volumens V_{Tot} der Ballonhülle der Füllgrad q beim Start berechnet werden. Mit Formel (6) und aufgrund von $m_T = m_{B-SG}$ gilt dann

$$m_{B-SG} = (D_L - D_W) \cdot q \cdot V_{Tot} \cdot \frac{p_S}{T_S} \quad (8)$$

da $q \cdot V_{Tot}$ gerade dem Volumen des Ballons vor dem Start entspricht.

Im vorliegenden Fall betrug der Druck p_S am Startplatz gemäss Abschnitt 1.5.2 ca. 986 hPa. Aufgrund der Anzeigegenauigkeit des Multifunktionsgerätes Aircotec-Primus scheint hier eine Unsicherheit von ± 1 hPa angebracht. Die Temperatur T_S am Startplatz betrug laut Angabe in Abschnitt 1.4.2 ca. 8 Grad Celsius bzw. ca. 281 K, wobei hier eine Unsicherheit von ± 1 K vernünftig erscheint. Das totale Volumen des Ballons beträgt $V_{Tot} = 1025 \text{ m}^3$ bei einer Unsicherheit von $\pm 25 \text{ m}^3$, während die Masse im Schwebgleichgewicht beim Auswiegen gemäss den Angaben im letzten Abschnitt $m_{B-SG} = 869 \text{ kg}$ bei einer Unsicherheit von $\pm 25 \text{ kg}$ betrug.

Somit resultiert gemäss Formel (8) ein Füllgrad q beim Start von ca. 75 % bei einer Unsicherheit von rund ± 4 %. Die Unsicherheit stammt dabei primär von den Unsicherheiten der Masse im Schwebgleichgewicht und des totalen Volumens, die Unsicherheiten in Temperatur und Druck am Startplatz sind im Vergleich dazu vernachlässigbar.

Aufgrund der Schätzungen des Piloten, des Platzchefs und des Herstellers (vgl. Abschnitt 1.2.5) erscheint somit ein Füllgrad q beim Start von 73-75 % als wahrscheinlich. Im Folgenden wird daher spezielles Augenmerk auf diesen Bereich gelegt.

1.6.3 Prallhöhe

Steigt ein unpraller Ballon mit Füllgrad q auf, so dehnt sich aufgrund des abnehmenden Luftdruckes das Traggas aus und das Volumen des Ballons nimmt zu. Die Tragfähigkeit bleibt dabei idealisiert betrachtet konstant, wie den Formeln (6) und (2) zu entnehmen ist. Diejenige Höhe, auf welcher das Traggas das totale Volumen V_{Tot} der Ballonhülle ausfüllt, wird Prallhöhe genannt. Der Ballon ist dann prall.

Bezeichnen p_P und T_P den Druck respektive die Temperatur auf der gesuchten Prallhöhe, so gilt aufgrund von Formel (2)

$$\frac{p_S \cdot q \cdot V_{Tot}}{T_S} = \frac{p_P \cdot V_{Tot}}{T_P} \quad (9)$$

oder, da sich das totale Volumen V_{Tot} kürzen lässt,

$$\frac{p_S \cdot q}{T_S} = \frac{p_P}{T_P} \quad (10)$$

Sind die Grössen auf der linken Seite von Formel (10) bekannt, so ist das Verhältnis von Druck zu Temperatur auf der gesuchten Prallhöhe bekannt. Mit Hilfe einer Kurve für die vertikale Verteilung von Druck und Temperatur kann so die Prallhöhe bestimmt werden.

Im vorliegenden Fall betrug der Quotient auf der linken Seite von Formel (10) aufgrund der Angaben im letzten Abschnitt ca. 2.63 hPa/K bei einer Unsicherheit von rund ± 0.15 hPa/K. Die Unsicherheit rührt dabei praktisch ausschliesslich von der Unsicherheit des Füllgrades q her, weshalb die Unsicherheiten in Temperatur und Druck am Startplatz in der Folge vernachlässigt werden.

Mit Hilfe von Abbildung 9 in Abschnitt 1.4.4 lassen sich nun die zugehörigen Prallhöhen finden. Insbesondere betrug die Temperatur in Druckhöhen von ca. 730 bis ca. 690 hPa konstant ca. 1 Grad Celsius bzw. ca. 274 K.

Füllgrad q [%]	Prallhöhe [hPa]	Prallhöhe [m]	Prallhöhe [ft]
71	680	3240	10 630
73	701	3000	9840
75	721	2780	9120
79	760	2360	7740

Diese Angaben sind nicht exakt, da auch die vertikale Verteilung von Druck und Temperatur gewissen Unsicherheiten unterliegt. Jedoch ist der Einfluss dieser Unsicherheiten auf die resultierenden Prallhöhen im Vergleich zu demjenigen des Füllgrades q beim Start bedeutend geringer.

1.6.4 Normalhöhe

Nach Erreichen der Prallhöhe steigt der Ballon weiter, und zwar umso mehr, je mehr Ballast während des Aufstiegs abgegeben wurde. Der Ballon bleibt dabei prall, also zu 100 % gefüllt, und der überschüssige Teil des sich weiter expandierenden Traggases wird durch den Füllansatz ausgestossen.

Diejenige Höhe, in welcher der Ballon ohne weitere Ballastabgabe nicht mehr weiter steigt, wird Normalhöhe genannt. Der Ballon befindet sich dann in einem neuen Schwebgleichgewicht.

Bezeichnet m_{Bal} die totale Masse des seit dem Auswiegen am Startplatz abgegebenen Ballastes, und p_N und T_N den Druck respektive die Temperatur auf der gesuchten Normalhöhe, so folgt mit Formel (6)

$$m_{\text{B-SG}} - m_{\text{Bal}} = (D_L - D_W) \cdot V_{\text{Tot}} \cdot \frac{p_N}{T_N} \quad (11)$$

wobei $m_{\text{B-SG}} - m_{\text{Bal}}$ der dann aktuellen Masse des Ballons entspricht.

Wiederum kann damit genau wie bei der Prallhöhe mit Hilfe einer Kurve für die vertikale Verteilung von Druck und Temperatur die Normalhöhe bestimmt werden.

Im vorliegenden Fall betrug die totale Ballastabgabe m_{Bal} ca. 38 kg, nämlich die anfängliche Steigkraft von ca. 15 kg plus die rund 5/3 Sack Ballastabgabe à ca. 23 kg.

Bei einer Masse im Schwebgleichgewicht beim Auswiegen von $m_{\text{B-SG}} = 869$ kg entsprechend einem Füllgrad q von ca. 75 % bei einem totalen Volumen V_{Tot} von 1025 m^3 resultiert damit beispielsweise für die Normalhöhe eine Druckhöhe von ca. 682 hPa entsprechend ca. 3215 m bzw. ca. 10 550 ft. Die Normalhöhe lag also in diesem Fall gut 400 m über der Prallhöhe.

Die Berechnung weiterer möglicher Fälle zeigt, dass die Normalhöhe in allen Fällen rund 400 m über der Prallhöhe lag.

1.6.5 Steigverhalten unter Prallhöhe bzw. zwischen Prall- und Normalhöhe

Unter Verwendung der Formeln aus Abschnitt 1.6.1 kann mathematisch das Steigverhalten sowohl unterhalb der Prallhöhe wie auch zwischen Prall- und Normalhöhe simuliert werden.

Das Modell verwendet dazu als Auftriebskraft Formel (4) und als Widerstandskraft eine der momentanen Bewegungsrichtung des Ballons entgegen gerichtete Kraft, welche proportional zur Geschwindigkeit im Quadrat ist und bei einem unbeschleunigten Aufstieg (unpraller Ballon, konstante Steiggeschwindigkeit) auf Formel (7) führt. Dies liefert eine nichtlineare Differentialgleichung zweiter Ordnung für die Druckhöhe h in Abhängigkeit der Zeit t .

Unter der Prallhöhe liefert dieses Modell per Konstruktion eine konstante Steiggeschwindigkeit, welche Formel (7) entspricht. Der Wert der Steiggeschwindigkeit lässt sich dabei nur über den Ballastabwurf regulieren.

Zwischen Prall- und Normalhöhe muss die Abhängigkeit der Temperatur T von der Druckhöhe h in das Modell einfließen. Im vorliegenden Fall betrug die Temperatur T gemäss Abbildung 9 in Druckhöhen von ca. 730 bis ca. 690 hPa konstant ca. 1 Grad Celsius bzw. ca. 274 K. Dies entspricht einem Höhenband von ca. 2680 bis ca. 3125 m. Darüber betrug die Temperatur bis auf eine Druckhöhe von ca. 670 hPa entsprechend ca. 3350 m ungefähr 0 Grad Celsius bzw. ca. 273 K. Es wurde daher für das Modell eine konstante Temperatur von 274 K angenommen. Die Abhängigkeit des Druckes p von der Höhe h muss ebenfalls in das Modell einfließen und wird über Formel (1) gegeben.

Weiter müssen für das Modell die folgenden Werte spezifiziert werden: die aktuelle Masse des Ballons m_B , die Erdbeschleunigung g sowie das totale Volumen der Hülle V_{Tot} . Für die Simulation wurden die Werte $m_B=831$ kg, $g=9.81$ m/s² sowie $V_{Tot}=1025$ m³ verwendet, was den Werten im vorliegenden Fall ohne Berücksichtigung der Unsicherheiten entspricht. Die genauen Werte haben keinen Einfluss auf das generelle dynamische Verhalten.

Schliesslich müssen noch die Anfangshöhe $h(0)$ sowie die Anfangsgeschwindigkeit $h'(0)$ spezifiziert werden, um die Simulation durchführen zu können. Es wurden dazu die Werte $h(0)=2780$ m, was der Prallhöhe mit obigen Werten entspricht, sowie $h'(0)=3.31$ m/s gewählt. Letztere Wahl führt einerseits zu einer unbeschleunigten Situation zu Beginn der Simulation, $h''(0)=0$ m/s², und stimmt andererseits gut mit den aufgezeichneten Daten gemäss Multifunktionsgerät Aircotec Primus im relevanten Bereich überein, vgl. Abbildung 10.

Unter Verwendung der so spezifizierten Daten wurde die Simulation numerisch berechnet. Die Dynamik zwischen Prall- und Normalhöhe ergibt sich demnach für die gewählten Werte wie in Abbildung 11 dargestellt.

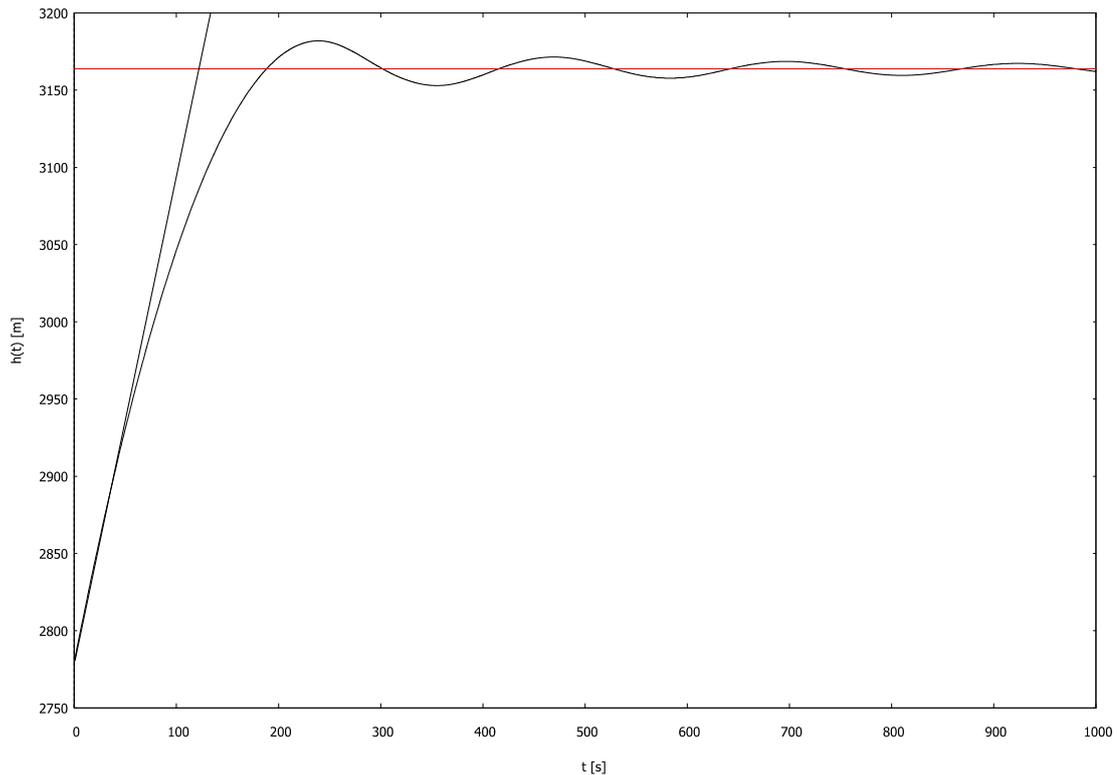


Abbildung 11: Dynamik zwischen Prall- und Normalhöhe gemäss mathematischer Simulation. In rot eingezeichnet die Normalhöhe, welche für die gewählten Daten bei ca. 3170 m liegt. In schwarz eingezeichnet die der Anfangsgeschwindigkeit entsprechende konstante Steiggeschwindigkeit von 3.31 m/s.

Die Dynamik zeigt einen Aufstieg, welcher bis rund 200 m über der Prallhöhe nahe der Tangente der anfänglichen Steiggeschwindigkeit verläuft. Danach beginnt die Kurve langsam abzuflachen. Erst mit relativ grosser Annäherung zur Normalhöhe erfolgt ein markantes Abflachen, wobei der Ballon aufgrund der Massenträgheit die Normalhöhe zunächst leicht überschiesst und sich dieser dann oszillatorisch annähert.

Diese generellen Eigenschaften der Dynamik sind unabhängig von konkret gewählten Zahlenwerten und bleiben daher auch unter Berücksichtigung möglicher Unsicherheiten gültig.

1.6.6 Platzhöhe bei Aufstieg mit geschlossenem Appendix

Steigt ein Ballon mit geschlossenem Appendix über die Prallhöhe, so kann das expandierende Traggas nicht oder nur ungenügend über den Appendix entweichen und es bildet sich ein Überdruck in der Hülle. Dieser Überdruck wird umso grösser, je höher der Ballon steigt, d.h. je mehr der äussere Luftdruck abnimmt. Wird dieser Überdruck zu gross, so platzt die Hülle.

Gemäss Angabe in [1], S. 67, erfolgt das Platzen der Hülle bei einem Luftdruck, der ca. 4.4 % unter dem Druck auf der Prallhöhe liegt. Ca. 3 % können durch die geringe Elastizität der Hülle kompensiert werden, und ca. 1.4 % entsprechen der Festigkeitsgrenze des Hüllenmaterials. Rechnerisch ergeben sich so typischerweise Werte um die 350 m über der Prallhöhe.

Diese Angaben sind jedoch bloss Richtwerte und hängen stark vom Zustand der Hülle und weiteren Faktoren wie beispielsweise der Gasdichtigkeit des geschlossenen Appendix ab. In der Praxis kann daher über die exakte Platzhöhe keine Angabe gemacht werden.

Aufgrund der geringen Elastizität der Hülle führt ein Aufsteigen über die Prallhöhe mit geschlossenem Appendix zunächst zu einer geringen weiteren Expansion des Volumens. Dies bedeutet in Bezug auf die im letzten Abschnitt beschriebene Dynamik zwischen Prall- und Normalhöhe, dass sich der Ballon im Falle eines Aufstiegs über die Prallhöhe mit geschlossenem Appendix noch für tendenziell etwas längere Zeit praktisch tangential zur anfänglichen Steiggeschwindigkeit bewegt und das Abflachen demnach etwas später erfolgt. Der generelle Verlauf der Dynamik bleibt dabei unverändert, wie entsprechende Simulationen zeigen.

1.6.7 Bedingungen auf maximaler Druckhöhe

Gemäss Abschnitt 1.5.2 erreichte der Ballon eine maximale Druckhöhe von ca. 3068 m bzw. ca. 10 066 ft, entsprechend einem Druck von ca. 695 hPa. Gemäss Abschnitt 1.5.3 lag die maximale Druckhöhe zwischen 9850 und 9950 ft bzw. ca. 3002 und 3033 m, entsprechend einem Druck zwischen ca. 698 und 701 hPa.

Nach dem Unfall wurde festgestellt, dass die Druckmessungen und damit die Höhenaufzeichnungen des Multifunktionsgerätes Aircotec Primus sehr genau waren (vgl. Abschnitt 1.5.2). Es ist in diesem Zusammenhang wichtig zu sehen, dass die angezeigte und aufgezeichnete Höhe unmittelbar via Standardatmosphäre aus dem Druck errechnet wird und dabei keinerlei Unsicherheiten des tatsächlichen Temperaturprofils eine Rolle spielen. Es kann daher geschlossen werden, dass der Ballon eine maximale Druckhöhe von ca. 10 000 ft bzw. ca. 3050 m erreichte. Der Druck betrug dort zwischen 696 und 697 hPa und die Temperatur lag bei ca. 1 Grad Celsius bzw. ca. 274 K.

Gemäss Abschnitt 1.6.3 war die Hülle auf dieser Höhe bei Füllgraden q von etwas unter 73 % oder mehr prall. Der Ballon befand sich dann über der Prallhöhe und die Dynamik folgte dem in Abschnitt 1.6.5 beschriebenen Verlauf. Bei einem Füllgrad q von 75 % beispielsweise befand sich der Ballon rund 270 m über der Prallhöhe.

Für Füllgrade q von etwas unter 73 % oder weniger war die Hülle noch nicht prall. Der Ballon befand sich dann unter der Prallhöhe und die Dynamik entsprach einem Aufstieg mit konstanter Steiggeschwindigkeit.

1.7 Angaben zur Erfahrung des Piloten

Der Pilot war erfahren und wies knapp 600 Fahrten mit über 3600 Stunden Fahrzeit und über 1000 Landungen auf. Er führte regelmässig Alpenfahrten, Tages- und Nachtfahrten sowie Wettfahrten durch.

Bis zur Unfallfahrt hatte er annähernd 100 Fahrten auf dem Ballon HB-QHJ, davon zehn Alpenfahrten, durchgeführt.

Die letzte Alpenfahrt führte der Pilot am 7. August 2010, ebenfalls im Ballon HB-QHJ, durch.

1.8 Medizinische Feststellungen

Die Abklärungen der medizinischen Vorgeschichte sowie der Befindlichkeit des Piloten am Unfalltag ergaben keine Hinweise auf gesundheitliche Einschränkungen, welche das Unfallgeschehen hätten verursachen oder beeinflussen können.

Der Pilot brach sich beim Aufprall einen Lendenwirbel. Das Resultat eines kurz nach dem Unfall durchgeführten Atemlufttests ergab 0.00 ‰ Alkoholgehalt.

Der Passagier A erlitt eine multiple Rippenfraktur sowie eine leichte Verletzung der Lunge.

Der Passagier B erlitt ein komplexes Thoraxtrauma, welches zum Tod führte.

1.9 Überlebensaspekte

Die beiden Füllansatzhalteleinen, welche während der Fahrt üblicherweise und auch im vorliegenden Fall im Korb fixiert werden, sollen verhindern, dass sich bei einem starken Fall oder bei einer Schleiffahrt am Boden die untere Kalotte der Hülle in die obere hineinstülpt. Dieses Hineinstülpen ist jedoch im Falle eines Versagens der Hülle erwünscht, da sich dadurch eine Art „Fallschirmwirkung“ ausbilden und so die Fallgeschwindigkeit reduziert werden kann. Daher sollten in einem solchen Fall die Füllansatzhalteleinen gelöst respektive gekappt werden.

Im vorliegenden Fall wurde eine der beiden Füllansatzhalteleinen gelöst, während die andere sowie auch die Leine zum Schliessen des Füllansatzes an der Griffgirlande im Korb fixiert blieben. Dadurch konnte sich die „Fallschirmwirkung“ nicht oder zumindest nicht vollständig ausbilden, da das Hineinstülpen des unteren Teils der Hülle durch die Fixierung verhindert oder zumindest behindert wurde. Dies wird durch den grossen Zug, der während des Absturzes auf die beiden fixierten Leinen gewirkt haben musste, sowie die aufgezeichnete mittlere Fallgeschwindigkeit von 13-15 m/s, belegt.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Fallgeschwindigkeit kurz vor dem Aufprall aufgrund der getätigten Ballastabgabe oder einer Veränderung der aerodynamischen Bremswirkung der Hülle noch etwas verringerte, so dass der Aufprall schliesslich zufällig überlebbar war.

Der Pilot gab an, während des Falls kurzzeitig eine Sinkgeschwindigkeit von 2 m/s beobachtet zu haben. Daher habe er auch nicht allen Ballast abgegeben. *„Ich sagte mir, wenn wir eine ausgebildete Fallschirmwirkung haben, spielt es nicht so eine Rolle, wieviel Ballast wir haben.“*

1.10 Angaben des Piloten im Verlauf der Untersuchung

Nach Vorliegen des Entwurfs des Untersuchungsberichtes reichte der Pilot den Fahrtbericht sowie das Barogramm einer Alpenfahrt vom März 2013 ein. Diese Fahrt wurde durch einen anderen Piloten mit einem zum verunfallten Ballon baugleichen Gasballon vom Typ Wörner NL-1000/STU durchgeführt.

Basierend auf diesen Dokumenten argumentierte der Pilot zunächst wie folgt: Da das Gewicht der *crew* bei dieser Fahrt in etwa mit demjenigen während der Unfallfahrt verglichen werden könne und auch der Sandballast beim Start in etwa vergleichbar gewesen sei, habe der Füllgrad q beim Start in etwa gleich gross sein müssen wie bei der Unfallfahrt des Ballons HB-QHJ, nämlich etwa 70-75 %.

Gegen diese Argumentation ist – soweit aufgrund der vorliegenden Dokumente nachprüfbar – nichts einzuwenden.

Der Pilot folgerte weiter: Nun könne aber dem Fahrtbericht entnommen werden, dass der Ballon bei dieser Fahrt die Prallhöhe auf 4320 m/M erreicht habe, was belege, dass die Angaben zur Prallhöhe im Entwurf des Untersuchungsberichtes (vgl. Abschnitt 1.6.3) nicht zutreffend sein könnten.

Im eingereichten Fahrtbericht ist dazu das Folgende festgehalten: *„4320 m/M. Wir erreichen die Prallhöhe. Das heisst, die Höhe, bei welcher der Ballon prall ist und nicht mehr weiter steigt.“*

Dem ebenfalls eingereichten Barogramm ist zu entnehmen, dass es sich bei dieser Höhe um die Normal- und nicht die Prallhöhe handelt (vgl. Abschnitt 1.6.3 bzw. 1.6.4). Weiter kann dem Fahrtbericht entnommen werden, dass während des Aufstiegs bei dieser Fahrt insgesamt rund 140 kg Ballast abgegeben wurden, was erklärt, wieso die Normalhöhe bei dieser Fahrt wesentlich höher lag als bei der Unfallfahrt des Ballons HB-QHJ, bei welcher die totale Ballastabgabe ca. 38 kg betrug (vgl. Abschnitt 1.6.4). Eine Abschätzung mit den aus den Dokumenten ersichtlichen Grössen zeigt, dass die Prallhöhe bei der erwähnten Fahrt zwischen 2500 und 3000 m Druckhöhe lag.

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

Es gibt keine Hinweise für Schäden, die bereits vor Beginn der Unfallfahrt bestanden hatten und die den Unfall hätten mitverursachen können.

Die Untersuchung der Liekleine zeigte, dass diese keine vorbestandenen Schäden aufwies. Der Bruch der Liekleine ist auf eine mechanische Überlast zurückzuführen, welche mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht im Normalflug erfolgen konnte. Es kann daher geschlossen werden, dass das Reißen der Liekleine nicht unter Normalbedingungen erfolgen konnte, was unterstützt wird durch die Tatsache, dass bei allen bekannten Fällen, bei welchen die Liekleine aufgrund einer Vorschädigung riss, unter Normalbedingungen kein Einreißen der Hülle auftrat.

Die Untersuchung der Hülle ergab, dass diese verschiedene Reparaturstellen und Verfärbungen aufwies und generell Abnutzungserscheinungen zeigte. Dies stellte grundsätzlich eine gewisse Schwächung der Hüllenstruktur dar. Die Reparaturen wurden sachgemäss durchgeführt.

Für eine Beschädigung der Hülle durch ein allfälliges Überfüllen beim Aufrüsten zur letzten Fahrt vor der Unfallfahrt liessen sich nach dem Unfall keine Indizien finden. Aber selbst wenn eine solche Beschädigung stattgefunden hätte, liesse sich schwerlich erklären, wieso die Hülle dann nicht anlässlich der unmittelbar folgenden, sondern erst bei der übernächsten Fahrt riss.

Die Überprüfung der Reissfestigkeit der Hülle ergab, dass diese bis auf wenige Einzelmessungen im oberen Bereich der Bahn 6 überall den vom Hersteller spezifizierten Minimalwert erfüllte.

Im oberen Bereich der Bahn 6 lagen einzelne Messergebnisse knapp unter dem spezifizierten Minimalwert. Im Mittel wurde der Minimalwert jedoch auch da eingehalten und selbst der tiefste gemessene Wert lag mit 27.9 daN/50 mm noch mehr als ein Faktor 10 über der unter Normalbedingungen auftretenden Hüllenspannung von rund 2.5 daN/50 mm. Dies zeigt, dass die Reissfestigkeit in diesem Bereich der Hülle zwar knapp unter dem Minimalwert lag, aber immer noch Sicherheitsreserven bot, die unter Normalbedingungen nicht zu einem Unfall führen konnten.

Zusammengefasst kann somit festgehalten werden, dass das Reißen der Hülle nicht unter Normalbedingungen erfolgen konnte.

Die Abschätzungen in Abschnitt 1.6.2 zeigen, dass der Füllgrad q beim Start wahrscheinlich in einem Bereich zwischen 73 und 75 % lag. Rein rechnerisch sind aufgrund der verschiedenen Unsicherheiten Werte zwischen ca. 71 und ca. 79 % möglich. Hier lässt sich ohne Betrachtung weiterer Aspekte kaum ein genaueres Resultat finden, da insbesondere das totale Volumen der Hülle nicht genau bekannt und auch nicht mehr eruierbar ist.

Aufschluss liefert hier aber der Vergleich der im Bereich der maximalen Höhe durch das Multifunktionsgerät Aircotec Primus aufgezeichneten Daten (Abbildung 10) mit der berechneten Dynamik zwischen Prall- und Normalhöhe (Abschnitt 1.6.5 und Abbildung 11). Diese Aufzeichnungen zeigen zunächst ein Steigen mit praktisch konstanter Steiggeschwindigkeit, bevor die Kurve im obersten Bereich leicht von der Tangente abzuweichen beginnt. Es findet also eine ganz leichte Abflachung statt. Das kurze flache Plateau, welches dann folgt, entspricht nicht der tatsächlichen Dynamik und entstand aufgrund des Aufzeichnungsintervalls von 20 s (Verbindungsline zwischen zwei Messpunkten).

Der Verlauf dieser Aufzeichnungen lässt erstens den Schluss zu, dass der Ballon die Normalhöhe nicht erreicht hatte. Andernfalls hätte eine markante Abflachung der Kurve mit Erreichen der maximalen Höhe stattfinden müssen. Da die Normalhöhe gemäss Abschnitt 1.6.4 rund 400 m über der Prallhöhe lag, bedeutet dies aufgrund der gemäss Abschnitt 1.6.7 erreichten maximalen Druckhöhe von rund 3050 m, dass Prallhöhen unter ca. 2650 m ausgeschlossen werden können. Dies entspricht Füllgraden q beim Start von rund 76 % oder mehr.

Zweitens deutet der Verlauf dieser Aufzeichnungen darauf hin, dass die Prallhöhe mit grosser Wahrscheinlichkeit um mindestens ca. 200 m überschritten wurde, da andernfalls keine Abweichung von der anfänglichen, konstanten Steiggeschwindigkeit hätte festgestellt werden können. Somit lag die Prallhöhe mit grosser Wahrscheinlichkeit unter ca. 2850 m, was einem Füllgrad q beim Start von rund 74 % oder mehr entspricht.

Die Aufzeichnungen der Höhe gemäss Transponder (Anlage 1) lassen in dieser Frage keinen Rückschluss zu, da die scheinbare Abflachung mit Erreichen von FL 99 aufgrund der diskreten Werte auch mit einer noch vorhandenen Steiggeschwindigkeit von bis zu 3.5 m/s verträglich ist.

Zusammengefasst kann somit festgehalten werden, dass der Füllgrad q beim Start aufgrund der durch das Multifunktionsgerät Aircotec Primus aufgezeichneten Dynamik im Bereich der grössten Höhe (Abbildung 10) mit grosser Wahrscheinlichkeit zwischen ca. 74 und ca. 76 % lag. Dies korrespondiert überaus gut mit der unabhängig davon gefundenen direkten rechnerischen Bestimmung von q in Abschnitt 1.6.2, welche einen Wert von ca. 75 ± 4 % lieferte. Und auch die Schätzungen des Piloten, des Platzchefs und des Herstellers (vgl. Abschnitt 1.2.5) liegen absolut in Linie mit diesem Resultat. Es kann daher mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der Ballon bei Eintritt des Ereignisses prall war und die Prallhöhe um mindestens ca. 200 m überschritten hatte.

Die Distanz zwischen hochgezogener Griffgirlande und Füllansatzring betrug unter der These eines prallen Ballons gemäss der in Abschnitt 1.3.2 beschriebenen Vergleichsmessung ca. 7.55 m. Da der Umlenkstropp eine Länge von ca. 0.2 m aufweist, betrug die Distanz zwischen hochgezogener Griffgirlande und Ende des Umlenkstrops unter dieser These ca. 7.35 m. Derjenige Teil der Füllansatzzuziehleine, welcher über den Umlenkstropp läuft und dem Schliessen des Appendix dient, wurde nach dem Unfall in einer Distanz von ca. 7.25 m von der Befestigung am Pöschelring an der Griffgirlande festgeknotet aufgefunden. Aufgrund dieser Distanzverhältnisse muss somit unter der These eines prallen Ballons der Pöschelring bei Eintritt des Ereignisses vollständig bis zum Umlenkstropp hochgezogen gewesen sein, mit sogar noch einem gewissen Zug auf der Leine. Der Füllansatz war somit vollständig geschlossen.

Dies beweist, dass unter der These eines prallen Ballons der Appendix bei Eintritt des Ereignisses vollständig geschlossen war und der Ballon daher die Prallhöhe mit vollständig geschlossenem Appendix überschritten hatte. Dadurch baute sich in der Hülle ein mit zunehmender Höhe grösser werdender Überdruck auf, so dass das Risiko eines Platzens kontinuierlich zunahm. Schliesslich muss dieser Überdruck so gross geworden sein, dass die Hülle an ihrer schwächsten Stelle riss und das Traggas schlagartig ausströmte. Dabei ist es wahrscheinlich, dass das Platzen der Hülle aufgrund der doch etwas geschwächten Hüllenstruktur bereits bei einer geringeren Überschreitung der Prallhöhe erfolgte, als dies mit einer völlig intakten Hülle der Fall gewesen wäre. Mit grosser Wahrscheinlichkeit erfolgte das Platzen im oberen Bereich der Hülle und Folgerisse dehnten sich dann horizontal wie vertikal aus (Anlage 2). Dafür spricht der Richtungsverlauf des

markanten Hauptrisses in Bahn 6. Dieser Verlauf des Risses lässt den Schluss zu, dass die Liecele erst nach dem Reissen der Hülle brach.

Es kann somit abschliessend festgehalten werden, dass der Füllgrad q beim Start mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit in einem Bereich lag, welcher dazu führte, dass der Ballon die Prallhöhe bei Eintritt des Ereignisses überschritten hatte. Aufgrund der geometrischen Verhältnisse muss dann aber der Appendix spätestens ab der Prallhöhe vollständig geschlossen gewesen sein. Da die Normalhöhe rund 400 m über der Prallhöhe lag, war somit das Versagen der Hülle bloss eine Frage der Zeit.

Sollte hingegen der Füllgrad q beim Start so niedrig gewesen sein, dass der Ballon die Prallhöhe bei Eintritt des Ereignisses noch nicht erreicht hatte, so wäre dies nicht mit dem Verlauf der aufgezeichneten Daten (Abbildung 10) in Einklang, da die Steiggeschwindigkeit dann nach wie vor konstant gewesen wäre. Zudem hätten dann unabhängig von der Stellung des Appendix Normalbedingungen geherrscht, womit für das Versagen der Hülle keine Ursache vorgelegen hätte. Diese Punkte lassen dieses Szenario daher als wenig plausibel erscheinen.

2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

Der Pilot war erfahren, sowohl allgemein im Gasballonfahren wie auch im Speziellen bei Alpenfahrten. Die Tatsache, dass er den Passagieren schon früh ausführliche Checklisten zustellte, für die Fahrt Beförderungsscheine ausstellte und sich mehrfach und intensiv mit den Wettervorhersagen auseinandersetzte, zeigt, dass er sich seriös für die Fahrt vorbereitet hatte. Dies wird weiter unterlegt durch die umfassende Ausrüstung, welche nach dem Unfall an Bord vorgefunden wurde, sowie die Telefonate mit der Flugsicherung am Vortag und am Unfalltag selber. Auch bei den Startvorbereitungen auf dem Startplatz in Zurzach lief bis kurz vor dem Start alles wie gewohnt, geordnet und ohne Hektik ab.

Bemerkenswert ist, dass der Pilot vergass, den Höhenmesser auf die richtige Plathöhe respektive das richtige QNH einzustellen. Ebenso wurde der Appendix vor dem Start nicht geöffnet. Die Tatsache, dass diese beiden Punkte auf der abgearbeiteten Checkliste aufgeführt sind und auch abgehakt wurden, zeigt, dass das Abarbeiten der Checkliste nicht konsequent durchgeführt wurde.

Durch die Abbildungen 2 bzw. 3 belegt und vom Piloten bestätigt ist die Tatsache, dass der Ballon mit teilweise hochgezogenem Appendix startete, was zu diesem Zeitpunkt noch nicht kritisch war, da der Ballon nicht vollständig gefüllt war. Der Pilot gab denn auch an, dass er erst mit Erreichen der Prallhöhe den Appendix ganz öffnen wollte, was er aber in der Folge unterliess.

Das Aufsteigen mit teilweise hochgezogenem Appendix wurde vom Piloten bei Fahrten mit nicht prall gefülltem Ballon stets so praktiziert und mit dem Respekt vor einer Knallgasbildung begründet. Dieses Vorgehen birgt nicht nur erhebliche Risiken, sondern ist auch physikalisch nicht zu begründen. Beim Aufstieg zur Prallhöhe dehnt sich das Traggas aus und das Eindringen von Luft über den Füllansatz kann vernachlässigt werden. Erst wenn der Gasballon zu fallen beginnt und das Traggas erneut durch die veränderten Druckverhältnisse komprimiert wird, kann durch den geöffneten Füllansatz Umgebungsluft in die Ballonhülle gelangen und so zur Vermischung von Wasserstoff und Sauerstoff führen. Deshalb verschliessen viele Gasballonfahrer beim Abstieg des Luftfahrzeuges den Füllansatz.

Das vom Piloten praktizierte Vorgehen kam einer routinemässigen Verletzung einer anerkannten und der Sicherheit dienenden Regel gleich, die im Fahrt- und Betriebshandbuch des Herstellers aufgeführt ist.

Nach dem Start war der Pilot zunächst damit beschäftigt, durch die Abgabe von Sand die gewünschte Steiggeschwindigkeit zu erreichen. Da der Ballon bis um 06:00 Uhr die TMA Zürich durchqueren musste, war eine entsprechende Zeitplanung mit genügend hoher Steig- wie Horizontalgeschwindigkeit vonnöten. Im Anschluss an die letzte Sandabgabe um ca. 04:47 Uhr wurde die Aufmerksamkeit des Piloten auf den Funkverkehr und das Problem mit der Höhenübermittlung des Transponders gelenkt. Diese Phase dauerte gemäss Aufzeichnung von ca. 04:52 bis 04:57:24 Uhr, also bis rund 35 Sekunden vor dem Platzen der Ballonhülle. In dieser Phase überschritt der Ballon mit grosser Wahrscheinlichkeit die Prallhöhe. Es ist wahrscheinlich, dass die Aufmerksamkeit des Piloten einseitig auf den Funkverkehr und das korrekte Bedienen des Transponders gerichtet war. So realisierte er weder das Erreichen der Prallhöhe noch den durch die Änderung der Distanzverhältnisse während des Aufstiegs mittlerweile vollständig hochgezogenen und damit geschlossenen Appendix.

Die vom Piloten nach Vorliegen des Entwurfs des Schlussberichtes eingereichten Dokumente (vgl. Abschnitt 1.10) lassen den Schluss zu, dass er wesentliche Konzepte der Aufstiegsdynamik nicht verstanden hat. Die Bemerkung im eingereichten Fahrtbericht „4320 m/M. Wir erreichen die Prallhöhe. Das heisst, die Höhe, bei welcher der Ballon prallt und nicht mehr weiter steigt.“ zeigt, dass dem betreffenden Piloten der Unterschied zwischen der Prall- und der Normalhöhe nicht klar war. Die Tatsache, dass der Pilot des Unfallballons HB-QHJ diese Aussage aufgreift, um zu beweisen, dass die Angaben im Entwurf des Schlussberichtes bezüglich der Prallhöhe nicht zutreffend sein können, lässt darauf schliessen, dass ihm dieser Unterschied ebenfalls nicht klar war. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass diese falschen Vorstellungen zur Entstehung des vorliegenden Unfalls beigetragen haben. Dabei ist anzumerken, dass eine allfällige Verwechslung von Prall- und Normalhöhe keine gravierenden Konsequenzen hat, wenn permanent mit offenem Appendix gefahren wird.

Der Versuch des Piloten, nach dem Platzen der Hülle die „Fallschirmwirkung“ der Hülle zu entfalten, war grundsätzlich situationsgerecht. Die Tatsache, dass dies, wie in Abschnitt 1.9 beschrieben, nicht richtig gelang, kann durch die Extremsituation erklärt werden.

Auch war es sinnvoll, durch die Abgabe von Ballast die Sinkgeschwindigkeit zu reduzieren. In Anbetracht der Notlage ist es nachvollziehbar, dass ganze Sandsäcke integral über Bord geworfen wurden, auch wenn dadurch ein erhebliches Gefährdungspotenzial Dritter bestand, wie der Schaden an der Scheune belegt. Die Ansicht des Piloten, dass ein vollständiger Abwurf des Ballasts nicht zu einer Reduktion der Sinkgeschwindigkeit beigetragen hätte, widerspricht physikalischen Grundsätzen. Dies führte zu einem Aufprall mit höherer Sinkgeschwindigkeit als dies bei vollständigem Abwurf des Ballasts der Fall gewesen wäre.

Die Nachfrage des Flugverkehrsleiters während des raschen Abstiegs gab dem Piloten die Möglichkeit, die Notlage noch während des Absturzes zu deklarieren. Dies erlaubte eine umgehende Alarmierung der Rettungskräfte, weshalb diese sehr rasch am Unfallort eintrafen.

Die mehrfachen Anweisungen des Piloten an die Passagiere, wie sie sich beim Aufprall zu verhalten haben, waren situationsgerecht.

Der Aufprall des Korbes auf dem Baumstrunk führte aufgrund der Asymmetrie wahrscheinlich zu sehr unterschiedlichen Krafteinwirkungen auf die Insassen, je nach Position im Korb. Dies wird durch die vorgefundene Deformation des Korbes gestützt und könnte erklären, weshalb der Pilot leicht, der Passagier B aber tödlich verletzt wurde. Mit Sicherheit waren die Verzögerungskräfte beim Aufprall als Folge der hohen Sinkgeschwindigkeit beträchtlich.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Pilot

- Der Pilot besass die für die Fahrt notwendigen Ausweise.
- Es gibt keine Hinweise darauf, dass der Gesundheitszustand und die Leistungsfähigkeit des Piloten während der Unfallfahrt beeinträchtigt gewesen waren.
- Im Verlauf der Untersuchung eingereichte Dokumente lassen den Schluss zu, dass dem Piloten der Unterschied zwischen der Prall- und der Normalhöhe nicht klar war.

3.1.2 Ballon

- Es liegen keine Anhaltspunkte für vorbestandene technische Mängel vor, die den Unfall hätten verursachen oder beeinflussen können.
- Die Hülle wies verschiedene Reparaturstellen, teilweise Verfärbungen und generell Abnützungserscheinungen auf.
- Die Reissfestigkeit der Hülle lag im mittleren Bereich der Bahn 6 knapp unter dem vom Hersteller spezifizierten Mindestwert von 30 daN/50 mm.
- Überall sonst lag die Reissfestigkeit der Hülle über dem Mindestwert.
- Der Mindestwert für die Reissfestigkeit bietet eine mindestens zehnfache Sicherheit im Normalbetrieb.
- Die Liekleine wies keine vorbestandenen Mängel auf.
- Das Reißen der Liekleine erfolgte aufgrund einer mechanischen Überlast.
- Der markante Hauptriss in Bahn 6 verlief mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit ausgehend vom oberen Bereich der Hülle einerseits nach ganz oben bis zur Parachute-Öffnung und andererseits nach unten bis weit unter den Lastgurt.
- Die letzte Jahreskontrolle wurde am 10. März 2011 durchgeführt.
- Die Unfallfahrt war die achte Fahrt seit dieser Kontrolle.

3.1.3 Rahmenbedingungen

- Das Ziel der Fahrt war eine Überquerung der Alpen mit zwei Passagieren.
- Bis um 06:00 Uhr musste der Ballon die TMA Zürich verlassen haben.
- Der Pilot führte eine umfangreiche Flugvorbereitung durch.
- Der Ballast beim Start betrug 17 Sandsäcke à je ca. 14 kg plus ca. drei Säcke in der Träufeltasche, sowie drei Bidons mit Wasser à je ca. 10 kg.
- Der Füllgrad beim Start lag mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit in einem Bereich, welcher dazu führte, dass der Ballon bei Eintritt des Ereignisses die Prallhöhe überschritten hatte.
- Start und Aufstieg erfolgten mit teilweise hochgezogenem Appendix.
- Die Füllansatzzuziehleine war an der Griffgirlande im Korb fixiert.

- Die Distanz von der Griffgirlande im Korb zum Füllansatzring nimmt mit zunehmendem Füllgrad zu.
- Der Ballon erreichte eine maximale Druckhöhe von ca. 10 000 ft bzw. ca. 3050 m.
- Der Appendix war bei praller Hülle vollständig hochgezogen und daher geschlossen.

3.1.4 Fahrtverlauf

- Der Ballon startete um ca. 04:42 Uhr in Bad Zurzach.
- Die anfängliche Steiggeschwindigkeit betrug ca. 2 m/s.
- Noch über dem Startplatz wurde ein Sandsack abgegeben und der leere Sack hinuntergeworfen.
- Nach ca. vier bis fünf Minuten Fahrt wurde ein weiterer Sandsack abgegeben, wobei ca. ein Drittel davon in die Träufeltasche geleert wurde.
- Die Steiggeschwindigkeit betrug danach 3-3.5 m/s.
- Von 04:52 Uhr bis 04:57:24 Uhr stand der Pilot aufgrund der fehlenden Höhenübermittlung des Transponders in wiederholtem Funkkontakt mit der Flugverkehrsleitung.
- Um 04:57:24 Uhr setzte die Höhenübermittlung des Transponders ein, beginnend mit FL 96.
- Um ca. 04:58 Uhr platzte die Hülle und das Traggas entwich schlagartig.
- Die Fallgeschwindigkeit betrug im Mittel 13-15 m/s.
- Der Pilot löste die Fixierung einer der beiden Füllansatzhalteleinen.
- Die „Fallschirmwirkung“ der Hülle bildete sich nicht vollständig aus.
- Durch den Piloten wurden fünf bis sieben Säcke, durch einen der Passagiere ein Sack Sand integral abgeworfen.
- Einer der Säcke durchschlug das Dach einer Scheune und beschädigte dieses sowie ein in der Scheune eingelagertes Fahrzeug.
- Der Flugverkehrsleiter erkundigte sich beim Piloten nach dem Grund für den raschen Abstieg und konnte in der Folge die Rettungskräfte alarmieren.
- Der Pilot wies die Passagiere mehrfach darauf hin, wie sie sich beim Aufprall zu verhalten haben.
- Der Aufprall erfolgte auf einem Baumstrunk um ca. 05:02 Uhr.
- Einer der beiden Passagiere verstarb noch auf der Unfallstelle.
- Der andere Passagier und der Pilot wurden verletzt.
- Im Korb beziehungsweise in der unmittelbaren Umgebung des Korbes wurden insgesamt drei Bidons mit Wasser und neun gefüllte sowie vier leere Sandsäcke vorgefunden.

3.2 Ursachen

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass der Ballon nach einem plötzlichen Traggasverlust in einen raschen Sinkflug überging und auf dem Boden aufschlug.

Die folgenden Faktoren wurden als kausal für den Unfall ermittelt:

- Der Pilot betrieb den Ballon im Widerspruch zu grundlegenden physikalischen Gesetzmässigkeiten.
- Mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit stieg der Ballon mit geschlossenem Füllansatz über die Prallhöhe, was zu einem Platzen der Ballonhülle führte.

Der folgende Faktor wurde als möglicherweise beitragend für den Unfall ermittelt:

- Der Pilot wurde in einer entscheidenden Phase durch die Bedienung des Transponders und die Kommunikation mit der Flugverkehrsleitung abgelenkt.

Payerne, 9. September 2013

Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle

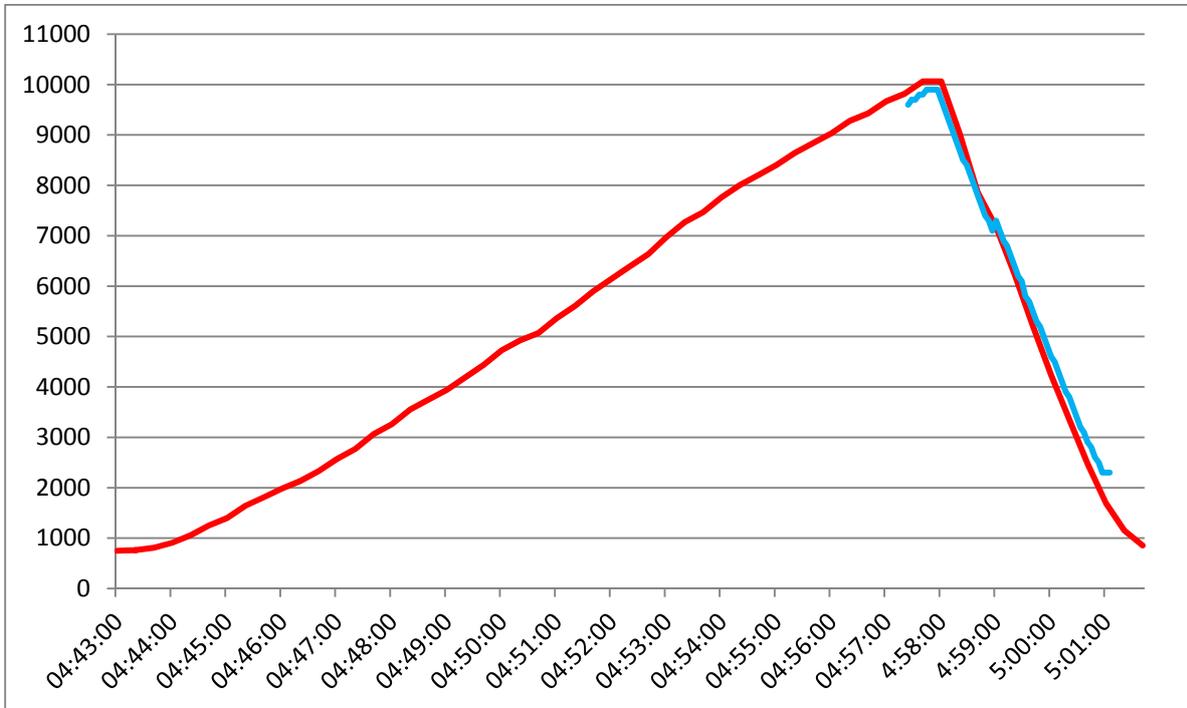
Dieser Schlussbericht wurde von der Geschäftsleitung der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 3 Abs. 4g der Verordnung über die Organisation der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle vom 23. März 2011).

Bern, 17. Oktober 2013

Anlagen

Anlage 1

Aufzeichnungen der Druckhöhe [ft] gemäss Multifunktionsgerät Aircotec Primus (rot) bzw. Radar (blau). Die Aufzeichnungen des Aircotec wurden zwecks Vergleichbarkeit auf Standarddruck QNH 1013 hPa umgerechnet sowie in der Zeitachse um eine Minute verschoben.



Anlage 2

Schematische Darstellung der Beschädigungen der Hülle (Nummern der Bahnen willkürlich)

