



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

Schlussbericht Nr. 2411 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über den schweren Vorfall (Fastkollision)

zwischen dem Motorflugzeug Mooney M20J, HB-DIH,

und einem Verband zweier Kampfflugzeuge F/A-18 der
Schweizer Luftwaffe

vom 15. Mai 2019

2 km südwestlich von Altendorf (SZ)

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht enthält die Schlussfolgerungen der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) über die Umstände und Ursachen des vorliegend untersuchten schweren Vorfalls. Gemäss Artikel 3.1 der 12. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 5. November 2020, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt (LFG; SR 748.0) vom 21. Dezember 1948 (Stand am 1. Mai 2022) 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 Sicherheitsuntersuchung. 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 ist das Original und daher massgebend.

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

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 Zeitpunkt des schweren Vorfalls der mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ) entsprach. Die Beziehung zwischen LT, MESZ und koordinierter Weltzeit (*Coordinated Universal Time* – UTC) lautet:

LT = MESZ = UTC + 2 h.

Inhaltsverzeichnis

Überblick	5
Untersuchung	6
Kurzdarstellung	6
Ursachen	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
1 Sachverhalt	7
1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf	7
1.1.1 Allgemeines	7
1.1.2 Vorgeschichte	7
1.1.3 Verlauf des schweren Vorfalls	7
1.2 Angaben zu Personen	9
1.2.1 Besatzung der HB-DIH	9
1.2.2 Besatzungen der Kampfflugzeuge	9
1.3 Angaben zu den Luftfahrzeugen	9
1.3.1 Motorflugzeug HB-DIH	9
1.3.2 Kampfflugzeuge F/A-18	9
1.4 Meteorologische Angaben	10
1.5 Prinzip «See and Avoid» zur Kollisionsverhütung	10
1.5.1 Grundsätzliche Angaben	10
1.5.2 «See and avoid» mit Kampfflugzeugen	11
1.5.3 Menschliche Limitationen	11
1.6 Kollisionswarnsysteme	12
1.6.1 Übersicht	12
1.6.2 Transponderpflicht in Lufträumen der Klassen G und E	13
1.7 Untersuchungen und Empfehlungen zur Kollisionsverhütung	13
1.7.1 Sicherheitsempfehlungen und -hinweise der SUST	13
1.7.2 Studien und Empfehlungen ausländischer Behörden	14
1.8 Vergleichbare Zwischenfälle	15
1.8.1 Segelflugzeug HB-3401 vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18	15
1.8.2 Helikopter HB-ZAN vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18	15
1.8.3 Motorflugzeug HB-CYP vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18	15
1.8.4 Helikopter HB-ZRP vs. drei Kampfflugzeuge F/A-18	15
1.8.5 Helikopter HB-ZWJ vs. zwei Kampfflugzeuge F-5E	16
2 Analyse	17
2.1 Technische Aspekte	17
2.1.1 Ausrüstung des Motorflugzeuges HB-DIH	17
2.1.2 Ausrüstung der Kampfflugzeuge F/A-18	17
2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte	17

2.2.1	Besatzung des Motorflugzeuges HB-DIH	17
2.2.2	Besatzungen der Kampfflugzeuge F/A-18.....	17
2.2.3	Flugverkehrsleitung	18
2.3	Verfahren	18
2.3.1	Flüge mit hoher Geschwindigkeit durch Lufträume der Klassen G und E	18
2.3.2	Einsatz von Transpondern und ADS-B-out.....	18
2.3.3	Einsatz von Kollisionswarngeräten	19
2.4	Massnahmen zur Kollisionsverhütung	19
3	Schlussfolgerungen.....	21
3.1	Befunde.....	21
3.1.1	Technische Aspekte	21
3.1.2	Besatzungen.....	21
3.1.3	Flugverlauf.....	21
3.1.4	Rahmenbedingungen	21
3.2	Ursachen.....	22
4	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen	23
4.1	Sicherheitsempfehlungen	23
4.2	Sicherheitshinweise	23
4.2.1	Kampfflugzeuge in Lufträumen der Klassen G und E.....	23
4.3	Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen	23

Zusammenfassung

Überblick

Luftfahrzeug 1

Halter	ASFG Ausserschwyzer Fluggemeinschaft Wangen, 8853 Lachen SZ
Eigentümer	ASFG Ausserschwyzer Fluggemeinschaft Wangen, 8853 Lachen SZ
Hersteller	Mooney Aircraft Corporation
Luftfahrzeugmuster	M20J «Mooney 201»
Eintragsstaat	Schweiz
Eintragszeichen	HB-DIH
Flugregeln	Sichtflugregeln (<i>Visual Flight Rules – VFR</i>)
Betriebsart	Schulung
Abflugort	Flugplatz Memmingen (EDJA)
Zielort	Flugplatz Wangen-Lachen (LSPV)

Luftfahrzeuge 2 und 3

Halter	Schweizer Luftwaffe
Eigentümer	Schweizerische Eidgenossenschaft
Hersteller	Boeing
Luftfahrzeugmuster	F/A-18 «Hornet»
Eintragsstaat	Schweiz
Eintragszeichen	J-5236 «Rookie71» / J-5025 «Rookie72»
Flugregeln	Sichtflugregeln (<i>Visual Flight Rules – VFR</i>)
Betriebsart	Militärisch
Abflugort	Flugplatz Payerne (LSMP)
Zielort	Flugplatz Payerne (LSMP)

Ort	2 km südwestlich von Altendorf (SZ), auf einer Flughöhe von rund 4000 ft AMSL ¹
Datum und Zeit	15. Mai 2019, 12:01:57 Uhr
Flugsicherungsstelle	Militärische Flugsicherungsstelle in der Einsatzzentrale der Luftwaffe
Luftraum	An der Luftraumgrenze zwischen Klasse G und E
Geringster Abstand zwischen den Luftfahrzeugen	rund 100 m horizontal / rund 15 m vertikal
Vorgeschriebene Mindeststaffelung	keine
Airprox-Kategorie	ICAO-Kategorie A ²

¹ AMSL: *Above Mean Sea Level*, über dem mittleren Meeresspiegel

² Das Kollisionsrisiko wird gemäss ICAO (*International Civil Aviation Organization*) einer Airprox-Kategorie zwischen A (erhebliches Kollisionsrisiko) und C (kein Kollisionsrisiko) zugeordnet.

Untersuchung

Die Fastkollision ereignete sich am 15. Mai 2019 um 12:01:57 Uhr. Die Meldung traf am 21. Mai 2019 bei der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein. Diese eröffnete am 22. Mai 2019 eine Sicherheitsuntersuchung.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Flugwegaufzeichnungen der flugzeugseitigen Satellitennavigationsgeräte (GPS);
- Radaraufzeichnungen der Flugsicherung;
- Aufzeichnungen des zivilen und militärischen Sprechfunkverkehrs;
- Angaben der Flugbesatzungen.

Der vorliegende Schlussbericht wird durch die SUST veröffentlicht.

Kurzdarstellung

Das einmotorige, viersitzige Motorflugzeug HB-DIH befand sich im Sinkflug für eine Landung auf dem Flugplatz Wangen-Lachen. Auf einer Höhe von rund 2000 ft über Grund kam es zu einer Fastkollision zwischen dem Motorflugzeug und einem Verband zweier Kampfflugzeuge, die sich mit hoher Geschwindigkeit annäherten. Der geringste Abstand zwischen den Flugzeugen betrug rund 100 m horizontal und rund 15 m vertikal.

Ursachen

Die Fastkollision zwischen einem Motorflugzeug und einem Verband zweier Kampfflugzeuge ist auf die Kombination folgender Faktoren zurückzuführen:

- Das Motorflugzeug flog sinkend und im Kurvenflug in denselben Raum wie die Kampfflugzeuge, die aufgrund eines Verkehrshinweises einer Flugverkehrsleitstelle diesem Luftfahrzeug auszuweichen gedachten;
- Nach der visuellen Erkennung des Motorflugzeuges erlaubte das zur Kollisionsverhütung anzuwendende Prinzip «*see and avoid*» infolge der hohen Geschwindigkeit der Kampfflugzeuge kein wirkungsvolleres Ausweichmanöver.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Schlussbericht werden 2 Sicherheitshinweise ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

1.1.1 Allgemeines

Die Fastkollision ereignete sich an der Grenze zwischen Lufträumen der Klassen G und E, die sich auf 2000 ft über Grund befindet.³ In diesen beiden Luftraumklassen waren die Besatzungen nach dem Prinzip «*see and avoid*» (sehen und ausweichen) selbst für die Einhaltung eines genügenden Abstandes zu anderen Luftfahrzeugen zuständig.⁴

1.1.2 Vorgeschichte

Die aus einem Fluglehrer und einem Piloten bestehende Besatzung der HB-DIH war nach Instrumentenflugregeln (*Instrument Flight Rules* – IFR) in Memmingen (EDJA) gestartet. Kurz vor dem Zwischenfall vollzog sie den Wechsel auf Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR), um den Flugplatz Wangen-Lachen (LSPV) anfliegen zu können, wo das Flugzeug stationiert war.

Die beiden im Verband fliegenden Kampfflugzeuge waren in Payerne (LSMP) gestartet und führten einen Navigationsflug nach Sichtflugregeln durch. Kurz vor dem Zwischenfall befanden sie sich über dem Walensee und flogen in westlicher Richtung. Der Leader des Verbands war in der Funktion als Fluglehrer eingesetzt, der Wingman als Auszubildender.⁵

1.1.3 Verlauf des schweren Vorfalls

Um 12:00:57 Uhr, 60 Sekunden vor der Fastkollision, befand sich das Motorflugzeug Mooney M20J, eingetragen als HB-DIH, auf 4600 ft AMSL über der Insel Ufenau (vgl. Abbildung 1). Das Flugzeug flog in südlicher Richtung im Sinkflug mit einer Geschwindigkeit von 160 kt über Grund. Die Besatzung war kurz zuvor in Kontakt mit dem Fluginformationsdienst «Zurich Information» gewesen und erbat das Schliessen ihres ATC⁶-Flugplans. Daraufhin wechselte die Besatzung der HB-DIH die Funkfrequenz auf die Platzfrequenz von Wangen-Lachen.

Zum gleichen Zeitpunkt befand sich der Verband der zwei Kampfflugzeuge F/A-18 mit den Eintragungszeichen (*tail number*) J-5236 und J-5025 über der Ortschaft Reichenburg (SZ) und flog auf einer gleichbleibenden Höhe von 4300 ft AMSL in westnordwestlicher Richtung. Der Wingman flog links hinter dem Leader, in einem Abstand von 0.3 NM und mit einer Überhöhung von 20 ft. Die Geschwindigkeit des Verbands betrug rund 430 kt über Grund.

Die Wolkenbasis lag zu diesem Zeitpunkt bei ungefähr 5200 ft AMSL. Die Sichtbedingungen unterhalb der Wolkenbasis waren mit einer Sichtweite von rund 25 km gut.

Die Piloten der F/A-18 standen in Funkkontakt mit der Einsatzzentrale der Luftwaffe. Diese warnte sie um 12:01:06 Uhr vor einem Flugzeug, das sich in einer

³ Klasse G: Unkontrollierter Luftraum unterhalb von 2000 ft über Grund. Klasse E: Kontrollierter Luftraum oberhalb von 2000 ft über Grund. Ein Flug nach Sichtflugregeln durch kontrollierten Luftraum der Klasse E erfordert weder eine Bewilligung der kontrollierenden Instanz (Sprechfunk), noch die Erkennbarkeit für die kontrollierende Instanz (Transponder bzw. Sekundärradar), noch die Erkennbarkeit durch Kollisionswarnsysteme (vgl. Kapitel 1.6).

⁴ Das Prinzip «*see and avoid*» (sehen und ausweichen) zur Kollisionsvermeidung besteht darin, dass ein Pilot andere Luftfahrzeuge zunächst visuell erkennt und diesen dann entsprechend ausweicht (vgl. Kapitel 1.5).

⁵ Der Verbandsführer (*leader*) führt die am Verbandsflug teilnehmenden Flugzeuge. Er ist wie vorliegend häufig das vorderste Flugzeug einer Formation, an dem sich die einzelnen Flügelmänner (*wingmen*) ausrichten. Im Normalfall legt der Leader die Flugwegwahl fest.

⁶ ATC: *Air Traffic Control*, Flugverkehrsleitung

Distanz von 6 NM vor ihnen auf einer Höhe von 4300 ft befände und sich in südlicher Richtung bewege.⁷ Der Leader drehte rund 15 Grad nach links auf einen annähernd westlichen Steuerkurs und begann einen leichten Sinkflug, um diesem Flugzeug auszuweichen. Der Wingman wechselte während dieses Manövers von der linken auf die rechte Seite des Leaders. Um 12:01:23 Uhr, 4.5 NM vor der Fastkollision, erkannte der Leader das Leichtflugzeug, bei dem es sich um die HB-DIH handelte, auf dem bordeigenen Radar.

In der Folge durchquerten die beiden Kampfflugzeuge den Anflugsektor «Süd» des Flugplatzes Wangen-Lachen, über den die Besatzung der HB-DIH anzufliegen gedachte (weiss schattiert in Abbildung 1). Gemäss der im VFR-Manual publizierten Sichtanflugkarte des Flugplatzes sollten Anflüge bevorzugt über diesen einen Anflugsektor und mit einer Höhe von mindestens 3500 ft AMSL erfolgen.

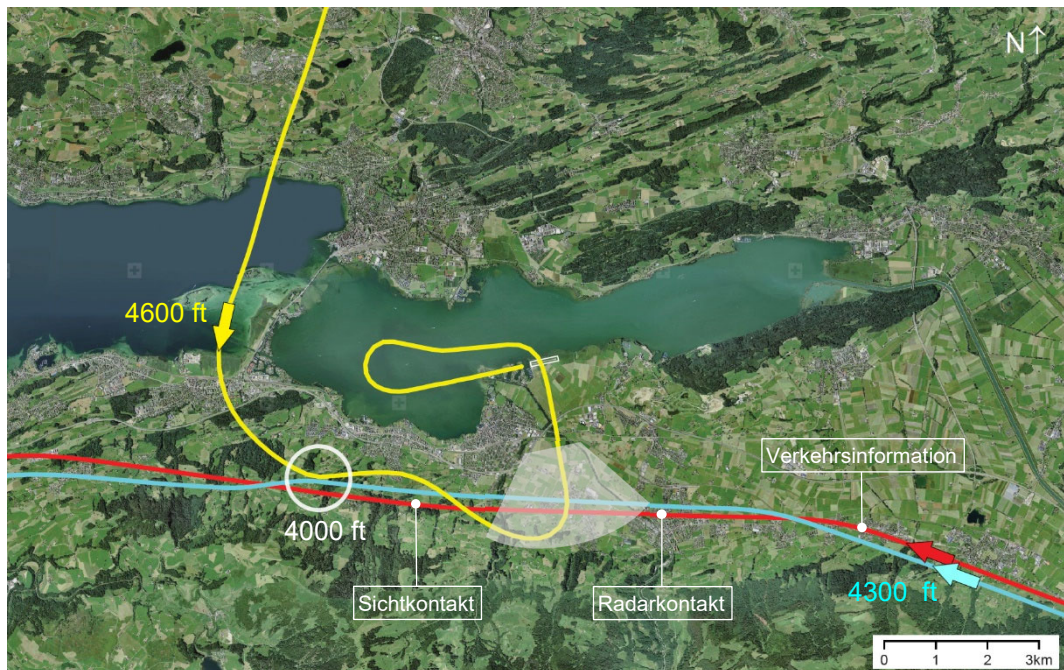


Abbildung 1: Flugweg der HB-DIH (gelb) über den Anflugsektor «Süd» (gemäss Sichtanflugkarte weiss schattiert) bis zur Landung auf der Piste 08 des Flugplatzes Wangen-Lachen am Ufer des Obersees (weiss umrandet) und Flugwege der beiden Kampfflugzeuge (Leader rot, Wingman blau). Der Kreis bezeichnet den Ort der Fastkollision. Die Pfeile bezeichnen die Positionen der drei Flugzeuge 60 Sekunden vor der Fastkollision. Hintergrundbild: Bundesamt für Landestopografie.

Um 12:01:45 Uhr, rund 1 NM vor dem Ort der Fastkollision und in einer Entfernung von 1.5 NM von der HB-DIH, erkannte der Leader das Motorflugzeug auch visuell. Er führte die Ausweichbewegung nach unten weiter, um auch für den rechts hinter ihm und 140 ft höher fliegenden Wingman Reserven zu schaffen, und meldete diesem die Sichtung über Funk. Er habe allerdings nicht realisiert, dass sich die HB-DIH ebenfalls im Sinkflug befand. Etwa 10 Sekunden später kreuzte der Wingman den Flugweg der HB-DIH bei einer gegenseitigen Annäherungsgeschwindigkeit von rund 550 kt (etwa 1000 km/h) und nahm dabei die HB-DIH in geringem Abstand gerade noch wahr.

Der Fluglehrer an Bord der HB-DIH entdeckte die beiden Kampfflugzeuge einen Augenblick vor der Fastkollision. Er nahm dabei das Einleiten einer Linkskurve durch eines der Kampfflugzeuge wahr und leitete aufgrund dessen auch selbst

⁷ Verkehrsinformationen an Kampfflugzeuge wie die vorliegende sind nicht generell zugesichert.

eine Linkskurve ein. Das bordeigene Kollisionswarngerät habe dabei zwar ein Flugzeug angezeigt, zuvor aber keine Warnung ausgegeben.

Die Fastkollision zwischen der HB-DIH und der F/A-18 des Wingman ereignete sich um 12:01:57 Uhr. Die Flugzeuge befanden sich dabei 2 km südwestlich von Altendorf (SZ) auf einer Höhe von rund 4000 ft AMSL, was einer Höhe von rund 2000 ft über Grund entsprach. Der Abstand zwischen den Flugzeugen betrug horizontal rund 100 m (0.05 NM) und vertikal rund 15 m (50 ft).

1.2 Angaben zu Personen

1.2.1 Besatzung der HB-DIH

Der 67-jährige Fluglehrer besass eine nach der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency – EASA*) ausgestellte Verkehrspilotenlizenz mit der Lehrberechtigung für Instrumentenflug. Er verfügte über eine Flugerfahrung von 16 030 h, wovon rund 800 h auf dem Vorfalldatum.

Der 55-jährige Pilot und Auszubildende besass eine nach EASA ausgestellte Privatpilotenlizenz. Er verfügte über eine Flugerfahrung von 364 h, wovon 184 h auf dem Vorfalldatum.

1.2.2 Besatzungen der Kampfflugzeuge

Der 44-jährige Leader flog in der Funktion eines Fluglehrers und besass eine militärische Pilotenlizenz. Er verfügte über eine Flugerfahrung von 3725 h, wovon 2103 h auf dem Vorfalldatum.

Der 26-jährige Wingman folgte dem Leader in der Funktion eines Auszubildenden und besass ebenfalls eine militärische Pilotenlizenz. Er verfügte über eine Flugerfahrung von 739 h, wovon 32 h auf dem Vorfalldatum.

1.3 Angaben zu den Luftfahrzeugen

1.3.1 Motorflugzeug HB-DIH

Bei der HB-DIH handelte es sich um ein einmotoriges, viersitziges Reiseflugzeug des Typs Mooney M20J mit weiss-blauer Farbgebung und weissen Kollisionswarnleuchten. Die M20J ist als freitragender Tiefdecker in Ganzmetallbauweise mit Einziehfahrwerk ausgeführt und verfügt über eine Flügelspannweite von 11 m. Die Motorleistung beträgt 200 PS und die Maximalgeschwindigkeit auf Meereshöhe 320 km/h.

Die HB-DIH war mit einem Kollisionswarngerät des Typs PowerFlarm ausgerüstet, das die beiden F/A-18 aufgrund ihrer eingeschalteten Transponder grundsätzlich erfassen konnte. Sie verfügte zudem über einen eingeschalteten Transponder (ohne ADS-B-out⁸), so dass sie von der Flugverkehrsleitung und von den Kampfflugzeugen grundsätzlich erfasst werden konnte (vgl. dazu Kapitel 1.6).

1.3.2 Kampfflugzeuge F/A-18

Bei den zwei Kampfflugzeugen handelte es sich um ein einsitziges und ein zweisitziges Exemplar der Boeing F/A-18 «Hornet», die von der Schweizer Luftwaffe als Abfangjäger eingesetzt werden und eine graue Farbgebung sowie rote Kollisionswarnleuchten aufweisen. Der Antrieb besteht aus zwei Turbofantriebwerken, die je 8 t Schub liefern. Die Flügelspannweite beträgt 11.7 m, die Maximalgeschwindigkeit auf Meereshöhe 1330 km/h.

⁸ ADS-B-out: *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast-output*, vgl. Kapitel 1.6.

Die beiden F/A-18 waren je mit einem bordgestützten Primärradar sowie einem *combined interrogator transmitter*⁹ ausgerüstet, womit das Motorflugzeug grundsätzlich erfassbar war. Über Kollisionswarngeräte verfügten die Kampfflugzeuge nicht, jedoch über eingeschaltete Transponder ohne *ADS-B-out*, die sie für die Flugverkehrsleitung und das Kollisionswarngerät der HB-DIH grundsätzlich erfassbar machten¹⁰.

1.4 Meteorologische Angaben

Ein kräftiges Hochdruckgebiet lag über Skandinavien. In der Höhe befand sich ein Tiefdruckgebiet über dem nördlichen Tyrrhenischen Meer. Zum Zeitpunkt und am Ort des schweren Vorfalls war der Himmel bewölkt, bei trockenem Wetter, guter Sicht und Wind aus nordöstlicher Richtung.

Wind	15 kt aus 060° auf 4500 ft AMSL
Sicht	25 km
Wolken	5/8 – 7/8 mit Untergrenze auf 5200 ft AMSL
Temperatur / Taupunkt	2 °C / 0 °C auf 4500 ft AMSL
Luftdruck (QNH)	1021 hPa (Druck reduziert auf Meereshöhe, berechnet mit den Werten der ICAO ¹¹ -Standardatmosphäre)
Gefahren	Mässige Bisenturbulenz unterhalb von FL ¹² 080
Sonnenstand	Azimut 143°, Höhe 57°

1.5 Prinzip «See and Avoid» zur Kollisionsverhütung

1.5.1 Grundsätzliche Angaben

Das Prinzip «*see and avoid*» zur Kollisionsverhütung ist ungeachtet der Luftraumklasse und der Flugregeln unverzichtbar und geniesst deshalb bereits in der Grundausbildung der Piloten einen hohen Stellenwert. Dennoch kommt es in Lufträumen, in denen die Kollisionsverhütung der Verantwortung der Piloten obliegt, immer wieder zu gefährlichen Annäherungen und sogar Kollisionen. Diese treten häufig in Lufträumen der Klasse E auf, in denen sowohl kontrollierter IFR-Verkehr als auch unkontrollierter VFR-Verkehr abgewickelt wird («Mischverkehr»)¹³.

Die rechtzeitige visuelle Erkennung von Luftfahrzeugen («*see*») kann durch verschiedene Umstände wie beispielsweise eine ungünstige Annäherungsgeometrie, eine ungünstige Farbgebung, Wettererscheinungen oder eine hohe Fluggeschwindigkeit erschwert, durch geeignete Hilfestellungen wie Kollisionswarnleuchten, Sprechfunkübermittlungen oder Cockpit-Warnungen aber auch erleichtert werden.

⁹ Der *combined interrogator transmitter* (CIT) dient der militärischen Identifikation von Luftfahrzeugen. Er enthält ein Abfragegerät (*interrogator*) zur Abfrage der Transponder dieser Luftfahrzeuge.

¹⁰ Es handelte sich dabei um Mode S Transponder, die aufgrund militärischer Überlegungen mit reduziertem Funktionsumfang als Mode C Transponder betrieben wurden. Auf die Funktionalität des Kollisionswarngeräts der HB-DIH hatte dieser Umstand keinen Einfluss. Eine Ausrüstung für *ADS-B-out* bestand nicht (vgl. Kapitel 1.6).

¹¹ ICAO: *International Civil Aviation Organization*, Internationale Zivilluftfahrtorganisation

¹² Die Flugfläche (*flight level* – FL) gibt die Flughöhe in 100 ft Einheiten unter Standardatmosphärenbedingungen an. FL 80 bezeichnet demnach eine Flughöhe von 8 000 ft AMSL der ICAO-Normatmosphäre.

¹³ Ein Grossteil des VFR-Verkehrs in der Schweiz wird unkontrolliert in Lufträumen der Klasse E abgewickelt. Ein Einflug in einen Luftraum der Klasse E bedarf weder einer Bewilligung durch eine Flugverkehrsleitstelle, noch besteht unter 7000 ft AMSL eine Pflicht zum Mitführen eines Transponders, was die Erkennbarkeit durch die Flugverkehrsleitung oder durch Kollisionswarnsysteme ermöglichen würde (vgl. dazu auch Kapitel 1.6.2). Es gelten Verkehrsregeln wie z.B. Rechtsvortritt oder Vortritt von Segelflugzeugen vor Motorflugzeugen.

Die dazu mit zunehmender Verbreitung eingesetzten Kollisionswarnsysteme erweisen sich als wertvoll, entbehren jedoch eines gemeinsamen Standards (vgl. Kapitel 1.6).

Eine hohe eigene Fluggeschwindigkeit erschwert nicht nur die rechtzeitige Erkennung anderer Luftfahrzeuge, sondern auch allfällige Ausweichmanöver («avoid»)¹⁴. Deshalb gilt für zivile Luftfahrzeuge unter FL 100, wo der Grossteil des unkontrollierten VFR-Verkehrs abgewickelt wird, eine generelle gesetzliche Höchstgeschwindigkeit von 250 KIAS¹⁵. Militärische Luftfahrzeuge dürfen aus betrieblichen Gründen diese Höchstgeschwindigkeiten überschreiten.

1.5.2 «See and avoid» mit Kampfflugzeugen

Kampfflugzeuge werden bei Einsätzen wie im vorliegenden Fall mit einer Geschwindigkeit im Bereich ihrer *corner speed*¹⁶ betrieben, da diese eine hohe Manövrierfähigkeit ermöglicht. Die hohe Belastungsgrenze von Kampfflugzeugen ermöglicht dabei eine über das Mass ziviler Flugzeuge hinausgehende Manövrierfähigkeit, was im Hinblick auf allfällige Ausweichmanöver von Bedeutung ist. Die *corner speed* liegt in Abhängigkeit von Flugzeugtyp und Zuladung in einem Bereich von 330 KIAS bis 450 KIAS.

Eine rechtzeitige Erkennung bleibt in jedem Fall Voraussetzung für ein Ausweichmanöver. Dies zeigte sich etwa bei der Fastkollision zwischen einem Segelflugzeug und zwei Kampfflugzeugen (vgl. Kapitel 1.8.1) oder bei der Fastkollision zwischen einem zivil eingetragenen Kampfflugzeug und einem Geschäftsreiseflugzeug (vgl. [Schlussbericht Nr. 2226](#) der SUST), die neben anderen Faktoren durch die hohe Geschwindigkeit der Kampfflugzeuge von jeweils rund 400 KIAS mitverursacht wurden.

1.5.3 Menschliche Limitationen

Für das visuelle Erkennen eines Flugzeuges ist in erster Linie dessen scheinbare Objektgrösse massgebend, die im Verlauf der Annäherung exponentiell wächst. Sie kann bei grosser Distanz, wenn Tragflächen aufgrund schmaler Silhouetten noch nicht erkennbar sind, dem Rumpfquerschnitt entsprechen. Als Grenzwert für das Erkennen eines Flugzeuges wird eine scheinbare Objektgrösse von 2 mrad¹⁷ angesehen; gezielte Erwartungshaltungen von Piloten ermöglichen geringere Werte.¹⁸

Für das Einleiten eines Ausweichmanövers nach dem Prinzip «see and avoid» wird laut einer Studie der US Navy¹⁹ eine durchschnittliche Zeit von 12.5 Sekunden

¹⁴ Der Platzbedarf für ein Ausweichmanöver wächst mit zunehmender Geschwindigkeit stark an, da beispielsweise der Drehradius eines Flugzeuges im Kurvenflug mit dem Quadrat seiner Fluggeschwindigkeit zunimmt.

¹⁵ KIAS: *Knots Indicated Air Speed*, angezeigte Fluggeschwindigkeit in Knoten. Das Geschwindigkeitslimit von 250 KIAS geht unter anderem zurück auf die Kollision vom 16. Dezember 1960 zwischen einer Super Constellation der TWA und einer DC-8 der UA auf 5200 ft AMSL über New York City, zu deren Hergang laut Untersuchungsbericht die hohe Fluggeschwindigkeit der DC-8 von 300 KIAS beitrug.

¹⁶ Die *corner speed* ist die tiefste Geschwindigkeit eines Kampfflugzeuges, bei der das maximal zugelassene Lastvielfache erreicht werden kann. Sie entspricht der Manövergeschwindigkeit v_A bei zivilen Flugzeugen.

¹⁷ mrad: Milliradian, 1 mrad entspricht einem Winkel von 0.057° (1 mm in einer Entfernung von 1 m)

¹⁸ vgl. Untersuchungsberichte der deutschen Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung BFU Nr. [3X191-1/2/98](#) zum Zusammenstoss eines Segelflugzeuges und eines Kampfflugzeuges und Nr. [19-1124-5X](#) zur Fastkollision zwischen einem Segelflugzeug und einem Verkehrsflugzeug.

¹⁹ Angabe aus einem «US Naval Aviation Safety Bulletin», zitiert in der «Studie über Annäherungen und Kollisionen von Luftfahrzeugen im deutschen Luftraum 2010 – 2015» der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (vgl. Kapitel 1.8.2).

benötigt. Diese Zeitspanne umfasst die Wahrnehmung eines Flugzeuges, das Erkennen einer Kollisionsgefahr, die Entscheidungsfindung, die Steuereingabe und die Reaktionszeit des eigenen Flugzeuges.

1.6 Kollisionswarnsysteme

1.6.1 Übersicht

Bis heute basieren sämtliche bordgestützten Kollisionswarnsysteme ebenso wie Verkehrshinweise der Flugsicherung auf Funksignalen, die von denjenigen Luftfahrzeugen ausgesendet werden müssen, vor denen eine Warnung erfolgen soll. Ausgehend von den heute in der Schweiz gebräuchlichen Ausrüstungen von Luftfahrzeugen stellen sich die Sende- und Empfangsmöglichkeiten solcher Funksignale vereinfacht wie folgt dar (vgl. Tabelle 1).

Sender → ↓ Empfänger	Transponder ohne ADS-B-out	Transponder mit ADS-B-out	Flarm oder PowerFlarm
Flugsicherung	✓	✓	✗
(passives) TAS	✓ *)	✓ *)	✗
TCAS, (aktives) TAS	✓	✓	✗
ADS-B-in	✗	✓	✗
Flarm	✗	✗	✓
PowerFlarm	✓ *)	✓	✓

Tabelle 1: Übersicht über die Sende- und Empfangsmöglichkeiten von Systemen, die der Kollisionsverhütung dienen. Ein Asterix *) bedeutet, dass der Sender nur erkannt werden kann, wenn er sich im Einflussbereich eines Bodenradars oder eines Luftfahrzeuges mit *interrogator* befindet. Die gelbe Markierung bedeutet, dass PowerFlarm zwar vor Flugzeugen mit Transpondern ohne ADS-B-out warnt, nicht aber ihre Position anzeigt.

Im Einzelnen weisen die in der Übersicht dargestellten, bordgestützten Kollisionswarnsysteme folgende Eigenschaften auf:

- (aktives) TAS (*Traffic Advisory System*): Verfügt über einen eigenen *interrogator* zur Abfrage von Transpondersignalen. Die Reichweite beträgt rund 40 NM.
- (passives) TAS: Auch als TDAS oder PCAS bekannt, verfügt nicht über einen eigenen *interrogator*. Die Reichweite beträgt rund 5 NM.
- TCAS (*Traffic Alert and Collision Avoidance System*): TCAS I funktioniert wie ein aktives TAS und gibt nur Verkehrshinweise (*Traffic Advisory – TA*) aus. TCAS II erteilt darüber hinaus als einziges Kollisionswarnsystem verbindliche Ausweichbefehle (*Resolution Advisory – RA*).
- ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*): System zur kontinuierlichen und unverschlüsselten Übermittlung der Flugzeugposition und weiterer Flugdaten. Diese Übermittlung (ADS-B-out) erfolgt kontinuierlich und bei in der Schweiz üblichen Installationen über die Mode S-Transponder der betreffenden Luftfahrzeuge. Erst der Empfang (ADS-B-in) ermöglicht Kollisionswarnungen. Mobile ADS-B-Empfänger sind preisgünstig und in Kleinflugzeugen mit zunehmender Verbreitung im Einsatz. Die Reichweite beträgt über 100 NM.

- Flarm: Ursprünglich für den Segelflug konzipiertes Verkehrsinformations- und Kollisionswarnsystem mit grosser Verbreitung auch in Motorflugzeugen und Helikoptern. Die Reichweite beträgt rund 3 km.
- PowerFlarm: Weiterentwicklung von Flarm mit besserer Funkleistung und der Empfangsmöglichkeit von ADS-B- und Transponderdaten.²⁰ Die Reichweite beträgt rund 10 km.

1.6.2 Transponderpflicht in Lufträumen der Klassen G und E

Die Funktion der meisten Kollisionswarngeräte sowie die Dienste der Flugsicherung hängen bis heute ausschliesslich vom Betrieb von Transpondern in den Luftfahrzeugen ab (vgl. Tabelle 1). In Lufträumen mit «Mischverkehr» (vgl. Kapitel 1.5), in welchen sich gefährliche Annäherungen wie die vorliegende am häufigsten zutragen, besteht jedoch keine ausnahmslose Pflicht zum Betrieb eines Transponders. Eine solche wurde allerdings schon vielfach empfohlen (vgl. Kapitel 1.7).

Nach SERA²¹.13001 ist der Betrieb von Transpondern zwar grundsätzlich vorgeschrieben («*the pilot shall operate the transponder at all times during flight*»), aber nur falls überhaupt ein Transponder eingebaut und betriebsbereit ist. Flugzeuge ohne ausreichende elektrische Stromversorgung sind ausgenommen; für Segelflugzeuge besteht jedoch eine entsprechende Empfehlung («*pilots of non-powered aircraft are also encouraged to operate the transponder during flight*»).

In der Schweiz besteht darüber hinaus, allerdings nur für motorgetriebene Luftfahrzeuge, in Lufträumen der Klasse E oberhalb von 7000 ft AMSL eine ausnahmslose Pflicht zum Mitführen und Einschalten eines funktionstüchtigen Transponders. Ansonsten besteht in Einklang mit SERA.13001 zwar eine Pflicht zum Einschalten des Transponders, aber nur «*sofern ein Transponder mitgeführt wird*» und «*sofern eine ausreichende elektrische Stromversorgung gewährleistet ist.*»²²

Mit der Schaffung von Lufträumen mit Transponderpflicht (*Transponder Mandatory Zone* – TMZ) an Orten mit erhöhtem Verkehrsaufkommen kann dieses Sicherheitsdefizit verringert werden. So wurde beispielsweise per 24. März 2022 in der Nordostschweiz die *Transponder Mandatory Zone Northeast* (TMZ NE) eingeführt.

1.7 Untersuchungen und Empfehlungen zur Kollisionsverhütung

1.7.1 Sicherheitsempfehlungen und -hinweise der SUST

Im Rahmen bisheriger Untersuchungen sprach die SUST bereits folgende Sicherheitsempfehlungen und -hinweise aus, die in Bezug auf den vorliegenden Fall und auf die vergleichbaren Zwischenfälle (vgl. Kapitel 1.8) von Relevanz sind:

- 2013: [Sicherheitsempfehlung Nr. 466](#) zur Festlegung von Lufträumen, in denen sich ausschliesslich Luftfahrzeuge bewegen dürfen, die mit einem funktionsfähigen und eingeschalteten Transponder ausgerüstet sind (TMZ).²³

²⁰ Bei älteren PowerFlarm-Geräten war eine Version ohne ADS-B- und Transponder-Funktionalität («PowerFlarm Core Pure») sowie eine Version mit diesen Funktionalitäten («PowerFlarm Core ADS-B») erhältlich.

²¹ SERA: *Standardised European Rules of the Air*, standardisierte europäische Flugverkehrsregeln, publiziert als Anhang zur Durchführungsverordnung (EU) Nr. 923/2012, in der Schweiz anwendbar gemäss Art. 1 der Verordnung über die Verkehrsregeln für Luftfahrzeuge (VRV-L, SR 748.121.11).

²² vgl. Art. 29 VRV-L und VFR Manual der Schweiz, Kapitel RAC 4-3-4.

²³ [Schlussbericht Nr. 2208](#) der SUST zur Fastkollision zwischen dem Verkehrsflugzeug Airbus A340 HB-JMN und dem Segelflugzeug ASW 20 HB-1519 vom 11. August 2012

- 2013: [Sicherheitsempfehlung Nr. 474](#) zur Ausrüstung von Luftfahrzeugen der Luftwaffe, welche mehrheitlich im zivilen Luftraum betrieben werden, mit Kollisionswarngeräten, die mit zivilen Standards kompatibel sind.²⁴
- 2016: [Sicherheitsempfehlung Nr. 499](#) zur Einführung von kompatiblen, auf Standards der Internationalen Zivilluftfahrt basierenden Kollisionswarnsystemen für die allgemeine Luftfahrt.²⁵
- 2017: [Sicherheitsempfehlung Nr. 518](#) zur Einführung der ausnahmslosen Pflicht zum Mitführen eines betriebsbereiten und eingeschalteten Transponders über schweizerischem Hoheitsgebiet.^{26 27}
- 2019: Sicherheitshinweis Nr. 24 zum kontinuierlichen Einschalten des Transponders und zur Kontaktaufnahme mit dem Platzverkehrsleiter in der Nähe von Regionalflugplätzen in Lufträumen der Klasse E.²⁸

1.7.2 Studien und Empfehlungen ausländischer Behörden

In jüngerer Vergangenheit wurden mehrere Studien veröffentlicht zu gefährlichen Annäherungen in Lufträumen, in denen die Verantwortung für die Kollisionsverhütung wie vorliegend den Piloten obliegt. Diese Studien eignen sich gleichermassen zur Kenntnisnahme durch Piloten und Behörden, da sie alle relevanten Aspekte wie etwa die Grenzen des Prinzips «*see and avoid*» beleuchten und daneben auch konkrete cockpit- oder bodenseitige Möglichkeiten zur Verbesserung der Flugsicherheit sowie Sicherheitsempfehlungen enthalten:

- Das damalige deutsche Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW, heute Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI, publizierte 2004 die Studie BEKLAS («*bessere Erkennbarkeit kleiner Luftfahrzeuge als Schutz vor Kollisionen*»). Zu den zahlreichen Empfehlungen für zu treffende Massnahmen zählt der flächendeckende Einsatz von Mode S-Transpondern in allen Luftfahrzeugen.²⁹
- Die deutsche Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung BFU wertete die 490 ihr zwischen 2010 bis 2015 gemeldeten Fälle gefährlicher Annäherungen und Kollisionen statistisch aus. Die dazu 2017 publizierte Studie enthält auch zahlrei-

²⁴ [Schlussbericht Nr. 2157](#) der SUST zur Fastkollision zwischen dem Motorflugzeug Mooney 201 HB-DHI und dem Helikopter Cougar T332 vom 11. August 2011

²⁵ [Schlussbericht Nr. 2238](#) der SUST zur Kollision zwischen dem Segelflugzeug Ventus 2b HB-3373 und dem Motorflugzeug Mooney M20J HB-DFP vom 6. Juni 2013

²⁶ [Schlussbericht Nr. 2294](#) der SUST zur Fastkollision zwischen dem Verkehrsflugzeug Avro RJ100 HB-IYW und dem Heissluftballon Cameron HB-BYI vom 3. Juni 2015

²⁷ Mit Bezug zu dieser Sicherheitsempfehlung äusserte sich das BAZL im Frühjahr 2020 wie folgt: «*Aufgrund der eigenen Lagebeurteilung verzichtet das BAZL daher auf das ursprünglich vorgesehene flächendeckende Transponder-Obligatorium für Segelflugzeuge und Ballone sowie auf die Ausdehnung auf den gesamten Luftraum E.*» Als Begründung wurde angeführt, dass ein Umrüsten bei Oldtimersegelflugzeugen schwierig bis unmöglich und bei Akrobatiksegelflugzeugen unverhältnismässig sei, und dass die Flugdauer bei Segelflugzeugen durch den zusätzlichen Energiebedarf reduziert werde.

²⁸ [Schlussbericht Nr. 2350](#) der SUST zur Fastkollision zwischen dem Geschäftsreiseflugzeug Falcon 2000 CS-DLB und dem Segelflugzeug Arcus HB-3442 vom 15. Oktober 2017

²⁹ Erkennbarkeit von Segelflugzeugen und kleinen motorisierten Luftfahrzeugen, Forschungsbericht FE-Nummer L-6/2002-50.0300/2002, 104 Seiten, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn 2004

che Feststellungen und Empfehlungen weiterer Organisationen. Die BFU empfiehlt darin unter anderem die Aufhebung einer für Segelflugzeuge bestehenden Ausnahme von der Transponderpflicht.³⁰

- Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit EASA publizierte 2011 die Studie SISA («*Scoping Improvements to 'See and Avoid' for General Aviation*»). Sie legt den Schwerpunkt darin auf bordgestützte Kollisionswarngeräte für Flugzeuge der *General Aviation* und empfiehlt dementsprechend die Schaffung eines gemeinsamen technischen Standards dafür: «*To develop a technical standard for collision warning systems in the field of general aviation.*»³¹

1.8 Vergleichbare Zwischenfälle

1.8.1 Segelflugzeug HB-3401 vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18

Am 28. Juli 2016 ereignete sich in der Region Freiburg (FR) eine Fastkollision zwischen dem als HB-3401 eingetragenen Segelflugzeug des Typs Duo Discus und einem Verband zweier F/A-18 bei guten Wetter- und Sichtverhältnissen. Die Luftfahrzeuge befanden sich auf derselben Höhe von 6000 ft AMSL in einem Luftraum der Klasse E. Das Segelflugzeug war mangels eines eingeschalteten Transponders weder für Flugverkehrsleitstellen noch für transponderbasierte Kollisionswarnsysteme erkennbar.

Die SUST publizierte zu diesem Zwischenfall einen [summarischen Bericht](#).

1.8.2 Helikopter HB-ZAN vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18

Am 20. Februar 2018 ereignete sich auf 2300 ft AMSL über der Insel Ufenau (SZ) eine gefährliche Annäherung zwischen dem als HB-ZAN eingetragenen Helikopter des Typs AS350 und einem Verband zweier F/A-18 in einem Luftraum der Klasse G bei schwierigen Sichtflugwetterbedingungen. Der Helikopter verfügte über einen Transponder, war aber wahrscheinlich aufgrund der geringen Flughöhe nicht auf dem Radar der militärischen Flugverkehrsleitstelle zu sehen.

Die SUST publizierte zu diesem Zwischenfall einen [summarischen Bericht](#).

1.8.3 Motorflugzeug HB-CYP vs. zwei Kampfflugzeuge F/A-18

Am 23. April 2018 kam es zu einer Annäherung zwischen dem auf der Platzrunde des Flugplatzes Speck-Fehraltorf (LSZK) fliegenden, als HB-CYP eingetragenen Motorflugzeug des Typs C152 und einem Verband zweier F/A-18 in der Kontrollzone der Luftraumklasse D des Flugplatzes Dübendorf (LSMD). Die C152 verfügte über einen eingeschalteten Transponder, die Kampfflugzeuge erhielten eine Verkehrsinformation von der Flugverkehrsleitstelle.

Die SUST untersuchte diese Annäherung nicht.

1.8.4 Helikopter HB-ZRP vs. drei Kampfflugzeuge F/A-18

Am 2. Oktober 2018 ereignete sich auf 4400 ft AMSL über dem Thunersee (BE) eine Fastkollision zwischen dem als HB-ZRP eingetragenen Helikopter des Typs AW109SP der Schweizerischen Rettungsflugwacht und einem Verband dreier F/A-18 in einem Luftraum der Klasse E bei guten Wetter- und Sichtverhältnissen.

³⁰ Annäherungen und Kollisionen von Luftfahrzeugen im deutschen Luftraum 2010 - 2015, Studie BFU 803.1-17, 68 Seiten, Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, Braunschweig 2017

³¹ *Scoping Improvements to 'See and Avoid' for General Aviation*, Research Project EASA.2011/07, 83 Seiten, 2011

Der Helikopterpilot erkannte mittels des bordeigenen TAS die Annäherung der Kampfflugzeuge und führte ein Ausweichmanöver aus.

Die SUST publizierte zu diesem Zwischenfall einen [summarischen Bericht](#).

1.8.5 Helikopter HB-ZWJ vs. zwei Kampfflugzeuge F-5E

Am 18. März 2021 kam es im Raum Thun (BE) zu einer gefährlichen Annäherung zwischen dem als HB-ZWJ eingetragenen Helikopter des Typs Robinson R44 und zwei Kampfflugzeugen des Typs F-5E Tiger II.

Die SUST publizierte zu diesem Zwischenfall einen [summarischen Bericht](#).

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Ausrüstung des Motorflugzeuges HB-DIH

Die Ausrüstung der Mooney zur Warnung vor Kollisionen bestand aus einem PowerFlarm und umfasste Empfangsmöglichkeiten für Transponder-, ADS-B- und Flarm-Signale. Es liegen keine Anhaltspunkte für vorbestehende Mängel vor. Die späte Anzeige der Kampfflugzeuge, basierend auf den ausgesandten Signalen derer Transponder, lässt sich nicht schlüssig erklären. Unabhängig davon war das Kollisionswarngerät nicht imstande, die Herkunftsrichtung der Kampfflugzeuge anzuzeigen, da deren Transponder keine Positionsangaben aussandten (vgl. Kapitel 1.6, Tabelle 1).

Die HB-DIH verfügte über einen eingeschalteten Transponder und war deshalb für andere Luftfahrzeuge, die über ein entsprechendes Kollisionswarngerät verfügten, und für die Flugverkehrsleitung erkennbar.

2.1.2 Ausrüstung der Kampfflugzeuge F/A-18

Die Ausrüstung der F/A-18 ermöglichte die Erfassung des Motorflugzeuges mittels eines bordeigenen Radars, nicht jedoch eine Kollisionswarnung. Dafür stand den Piloten ein militärischer Flugverkehrsleiter zur Seite, der von der HB-DIH aufgrund ihres eingeschalteten Transponders Kenntnis hatte.

Der Umstand, dass die Kampfflugzeuge keine Flugdaten über ADS-B aussandten und dafür auch nicht ausgerüstet waren, schränkte die Funktionalität von Kollisionswarnsystemen wie desjenigen der HB-DIH ein.

2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

2.2.1 Besatzung des Motorflugzeuges HB-DIH

Die Besatzung der Mooney wählte sowohl lateral als auch vertikal einen gewöhnlichen Flugweg und eine für das Flugzeug normale Geschwindigkeit. Sie bemerkte die beiden Kampfflugzeuge erst unmittelbar vor der geringsten Annäherung, wozu eine schlechte Sichtbarkeit und die hohe Annäherungsgeschwindigkeit beigetragen haben. Hilfestellungen durch das Kollisionswarngerät oder durch Funkübermittlungen lagen der Besatzung nicht vor³² (vgl. Kapitel 1.5.1).

2.2.2 Besatzungen der Kampfflugzeuge F/A-18

Nach einer Verkehrsinformation leitete der Leader eine Linkskurve sowie einen leichten Sinkflug ein, um dem anderen Luftfahrzeug auszuweichen, und erkannte dieses auf dem bordeigenen Radar. Da er mit der Linkskurve in dasselbe Gebiet wie die Mooney steuerte, ist davon auszugehen, dass er die Separation primär in der Vertikalen herbeizuführen gedachte. Die Mooney befand sich jedoch ebenfalls im Sinkflug, was die von ihm vorgesehene Separation laufend verringerte.

In einer Distanz von 1.5 NM zur Mooney stellte der Leader Sichtkontakt her. Dies erfolgte an der Grenze des menschlich Möglichen (vgl. Kapitel 1.5.3): Der Rumpfqerschnitt der Mooney erschien dabei unter 0.5 mrad, entsprechend einem Einfrankenstück in einer Distanz von 50 m. Auch das nachfolgende Ausweichmanöver erfolgte an der Grenze des menschlich Möglichen: In der für das Einleiten eines

³² Funkübermittlungen durch Kampfflugzeuge auf Platzfrequenzen sind aufgrund der hohen Fluggeschwindigkeiten nicht praktikabel; zudem müssen deren Besatzungen fortwährend auf der Frequenz der militärischen Flugverkehrsleitstelle hörbereit sein.

Ausweichmanövers benötigten Zeit (12.5 Sekunden, vgl. Kapitel 1.5.3) legten die Kampfflugzeuge 1.5 NM zurück.

2.2.3 Flugverkehrsleitung

Die militärische Flugverkehrsleitstelle erkannte ein mögliches Kollisionsrisiko und übermittelte eine Verkehrsinformation an die Kampfflugzeuge. Diese Übermittlung erfolgte zeitgerecht auf einer militärischen Führungs- und Informationsfrequenz und enthielt die für die Kampfflugzeugpiloten relevanten Angaben. Die Piloten des Motorflugzeuges konnten diese Verkehrsinformation nicht mithören: Sie standen auch nicht in Kontakt mit einer anderen Flugverkehrsleitstelle, was dem Normalfall für einen Sichtanflug auf einen unkontrollierten Flugplatz entsprach.

Der Zwischenfall illustriert die Wichtigkeit von Verkehrsinformationen, die den Piloten von Kampfflugzeugen ohne Kollisionswarnsystem beim Durchfliegen von Lufträumen mit «Mischverkehr» von den Flugverkehrsleitstellen übermittelt werden. Damit lässt sich das mit einer hohen Fluggeschwindigkeit einhergehende Risiko einer zu späten visuellen Erkennung anderer Flugzeuge zum Teil verringern. Gleichermassen wird die Bedeutung der eingeschalteten Transponder anderer Luftfahrzeuge deutlich, welche diese Übermittlungen erst ermöglichen.

Verkehrsinformationen an Kampfflugzeuge wie die vorliegende sind nicht generell zugesichert. Zur Verbesserung der Flugsicherheit erscheint es daher zweckmässig, den Kampfflugzeugen Verkehrsinformationen zuzusichern, wenn diese mit hoher Geschwindigkeit Lufträume der Klassen G und E mit «Mischverkehr» durchfliegen (vgl. Kapitel 2.4, Massnahmen zur Kollisionsverhütung).

2.3 Verfahren

2.3.1 Flüge mit hoher Geschwindigkeit durch Lufträume der Klassen G und E

In Lufträumen der Klassen G und E mit «Mischverkehr», also mehrheitlich in Lufträumen unter FL 100, ist jederzeit auch mit Luftfahrzeugen zu rechnen, die nicht mit technischen Hilfsmitteln, sondern nur visuell erkannt werden können. Da deren rechtzeitige visuelle Erkennung durch eine zunehmende eigene Geschwindigkeit erschwert wird, erhöht sich durch die Wahl einer hohen Geschwindigkeit grundsätzlich das Risiko einer gefährlichen Annäherung.

Diese geschwindigkeitsbedingte Erhöhung des Kollisionsrisikos bleibt bei zivilen Luftfahrzeugen durch die zumeist niederen und unter FL 100 auf 250 KIAS limitierten Geschwindigkeiten begrenzt. Bei den schneller fliegenden Kampfflugzeugen jedoch, so zeigt es der vorliegende Fall, kann die geschwindigkeitsbedingte Erhöhung des Kollisionsrisikos selbst dann noch von entscheidender Bedeutung sein, wenn die Piloten zeitgerecht auf andere Luftfahrzeuge hingewiesen werden.

Flügen mit sehr hohen Geschwindigkeiten durch Lufträume mit «Mischverkehr» wohnt somit inhärent ein erhöhtes Risiko einer gefährlichen Annäherung inne, das sich nicht immer durch Verkehrshinweise und hohe Manövrierfähigkeit verringern lässt. Das Prinzip «*see and avoid*» zur Kollisionsverhütung, dessen Anwendung sich mit zunehmender Geschwindigkeit erschwert, gelangt bei solch hohen Geschwindigkeiten schlicht an seine Grenzen.

2.3.2 Einsatz von Transpondern und ADS-B-out

Sowohl die bestehenden Sicherheitsempfehlungen und Studien (vgl. Kapitel 1.7) als auch die vergleichbaren Zwischenfälle mit Annäherungen zwischen zivilen Luftfahrzeugen und Verbänden von Kampfflugzeugen (vgl. Kapitel 1.8) zeigen, dass auf dem heutigen Stand der Technik in Bezug auf die Kollisionsverhütung am meisten gewonnen ist, wenn in allen Luftfahrzeugen Transponder mitgeführt und

auch eingeschaltet werden. Ein zusätzlicher Einsatz von ADS-B-out kann die Funktionalität von Kollisionswarngeräten verbessern.

Die geltenden Verfahren zum Einsatz von Transpondern (vgl. Kapitel 1.6.2) bilden einen Kompromiss ab zwischen dem Sicherheitsbedürfnis einerseits und dem Bedürfnis nach Nutzung von möglichst viel Luftraum durch Luftfahrzeuge aller Art³³, deren Ausrüstung mit Transpondern als unpraktikabel oder als zu teuer erachtet wird. Sicherheitsempfehlungen hierzu sind deshalb jeweils schwer umzusetzen und reichen folglich vom flächendeckenden Transponderobligatorium bis hin zu nur lokalen *transponder mandatory zones* (TMZ).

2.3.3 Einsatz von Kollisionswarngeräten

Verkehrsinformationen durch Flugverkehrsleitstellen sind zur Kollisionsverhütung sehr hilfreich, aber ausgerechnet in Lufträumen der Klassen G und E mit «Mischverkehr» nicht immer möglich. Dies legt den Einsatz von Kollisionswarngeräten nahe, insbesondere in schnell fliegenden Luftfahrzeugen. Im zivilen Bereich ist im Gegensatz zum militärischen Bereich die Ausrüstung der Luftfahrzeuge mit Kollisionswarngeräten bereits weit fortgeschritten

In Bezug auf die anzuwendenden Verfahren hervorzuheben ist der Umstand, dass die technische Entwicklung bereits Kollisionsverhinderungssysteme wie TCAS II hervorgebracht hat, bei denen die Piloten den Ausweichbefehlen dieser Systeme zu folgen haben, selbst wenn sie nach dem Prinzip «*see and avoid*» anders verfahren würden. Diese Systeme setzen allerdings einen flächendeckenden Einsatz von Transpondern voraus.

Insgesamt läuft die technische Entwicklung damit auf eine allmähliche Ablösung des Verfahrens «*see and avoid*» durch Verfahren der Art «*sense and avoid*» (*durch Sensoren erkennen und automatisch ausweichen*) hinaus. Dieser Prozess wird durch die Verbreitung unbemannter Luftfahrzeuge noch beschleunigt. Heutige Kollisionswarnsysteme dürfen jedoch, so illustrieren es die vorliegenden Zwischenfälle, keinesfalls als Ersatz für das Prinzip «*see and avoid*» verstanden werden, sondern nur als Hilfsmittel zu dessen Anwendung.

2.4 Massnahmen zur Kollisionsverhütung

Die bezüglich Kollisionsverhütung bestehenden Sicherheitsdefizite sind seit längerer Zeit bekannt und veranlassten verschiedene Behörden bereits zu diversen Sicherheitsempfehlungen und vertieften Studien (vgl. Kapitel 1.7). Die bisher durch die SUST ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen stehen im Einklang mit diesen und umfassen insbesondere Massnahmen wie

- (a) die Einführung kompatibler Kollisionswarnsysteme für die Luftwaffe,
- (b) die Einführung kompatibler Kollisionswarnsysteme für die allgemeine Luftfahrt,
- (c) die Einführung einer ausnahmslosen Transponderpflicht.

Die Erhöhung bestehender Kollisionsrisiken durch sehr hohe Geschwindigkeiten, wie sie für Kampfflugzeuge typisch und für den vorliegenden Zwischenfall relevant sind, in Lufträumen mit «Mischverkehr» (vgl. Kapitel 2.3.1) wurde bisher noch durch keine Sicherheitsempfehlung direkt adressiert.

³³ Dazu zählen neben den Segelflugzeugen etwa auch Gleitschirme, Deltasegler oder Ultraleichtflugzeuge verschiedenster Bauart, deren Betrieb ohne Transponder im gesamten kontrollierten Luftraum der Klasse E uneingeschränkt möglich ist.

Naheliegende Massnahmen in diesem Bereich sind

- (d) die Entflechtung des zivilen und militärischen Flugverkehrs durch Lufträume oder Flugstrecken, die der Benutzung durch das Militär vorbehalten sind,
- (e) die Anwendung der für zivile Luftfahrzeuge geltenden Geschwindigkeitslimite auch für Kampfflugzeuge.

Die Umsetzung der bisherigen Empfehlungen (a, b, c) erfolgte bisher nicht, vor allem aufgrund technischer Hürden. Die naheliegende und in der restlichen Welt häufig auch umgesetzte Massnahme (d) ist hierzulande aufgrund der räumlichen Verhältnisse kaum umzusetzen. Massnahme (e) entspricht nicht der Einsatzart von Kampfflugzeugen und dem zugehörigen Trainingsbedürfnis der Luftwaffe.

Damit stellt sich die Frage nach Massnahmen, die sowohl im Rahmen der heute verfügbaren Möglichkeiten zeitnah umsetzbar sind, als auch die Erhöhung bestehender Kollisionsrisiken durch sehr hohe Geschwindigkeiten, wie sie für Kampfflugzeuge typisch sind, zu begrenzen vermögen. Zu solchen Massnahmen zählen nach dem oben genannten

- (f) die Zusicherung von Verkehrsinformationen an Kampfflugzeuge, falls diese mit hoher Geschwindigkeit in Lufträumen der Klassen G und E verkehren,
- (g) der permanente Betrieb der Transponderanlagen ziviler Luftfahrzeuge, insbesondere der Segelflugzeuge, um solche Verkehrshinweise zu ermöglichen.

Die Massnahmen (f, g) werden in je einem Sicherheitshinweis an die Militärluftfahrtbehörde (*Military Aviation Authority* – MAA) bzw. an die Piloten ziviler Luftfahrzeuge aufgegriffen (vgl. Kapitel 4).

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Die Flugzeuge waren zum Verkehr nach VFR und IFR zugelassen.
- Die HB-DIH verfügte über einen eingeschalteten Transponder ohne ADS-B und ein Kollisionswarngerät des Typs PowerFlarm.
- Die Kampfflugzeuge verfügten je über einen eingeschalteten Transponder ohne ADS-B und ein Bordradar.
- Die Untersuchung ergab keine Anhaltspunkte für vorbestehende, technische Mängel, die den Zwischenfall hätten beeinflussen können.

3.1.2 Besatzungen

- Die Piloten besaßen die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche oder ermüdungsbedingte Beeinträchtigungen der Piloten vor.

3.1.3 Flugverlauf

- Das Motorflugzeug HB-DIH flog nach VFR und befand sich im Sinkflug in Richtung des Anflugsektors «Süd» des unkontrollierten Flugplatzes Wangen-Lachen.
- Die beiden Kampfflugzeuge F/A-18 flogen im Verband nach VFR und befanden sich im Horizontalflug. Die Piloten standen in Kontakt mit einer militärischen Flugverkehrsleitstelle.
- Die Piloten der Kampfflugzeuge wurden von der militärischen Flugverkehrsleitstelle vor der HB-DIH gewarnt. Der Leader des Verbands stellte Radar- und Sichtkontakt zur HB-DIH her und wich nach unten aus.
- Die Besatzung der HB-DIH nahm keine Warnung ihres Kollisionswarngerätes wahr und konnte die Warnung der militärischen Flugverkehrsleitstelle nicht mit-hören.
- 2 km südwestlich von Altendorf (SZ) kam es auf rund 2000 ft über Grund und bei einer gegenseitigen Annäherungsgeschwindigkeit von rund 1000 km/h zur Fastkollision zwischen der HB-DIH und der F/A-18 des Wingman.

3.1.4 Rahmenbedingungen

- Der Himmel war bewölkt bei trockenem Wetter und guter Sicht.
- Die Piloten waren nach dem Prinzip «*see and avoid*» selbst für einen genügenden Abstand zu anderen Luftfahrzeugen zuständig.
- Die Kampfflugzeuge flogen mit einer für sie typischen, hohen Geschwindigkeit von 430 kt über Grund.

3.2 Ursachen

Eine Sicherheitsuntersuchungsstelle muss sich zum Erreichen ihres Präventionszwecks zu Risiken und Gefahren äussern, die sich im untersuchten Zwischenfall ausgewirkt haben und die künftig vermieden werden sollten. In diesem Sinne sind die nachstehend verwendeten Begriffe und Formulierungen ausschliesslich aus Sicht der Prävention zu verstehen. Die Bestimmung von Ursachen und beitragenden Faktoren bedeutet damit in keiner Weise eine Zuweisung von Schuld oder die Bestimmung von verwaltungsrechtlicher, zivilrechtlicher oder strafrechtlicher Haftung.

Die Fastkollision zwischen einem Motorflugzeug und einem Verband zweier Kampfflugzeuge ist auf die Kombination folgender Faktoren zurückzuführen:

- Das Motorflugzeug flog sinkend und im Kurvenflug in denselben Raum wie die Kampfflugzeuge, die aufgrund eines Verkehrshinweises einer Flugverkehrsleitstelle diesem Luftfahrzeug auszuweichen gedachten;
- Nach der visuellen Erkennung des Motorflugzeuges erlaubte das zur Kollisionsverhütung anzuwendende Prinzip «*see and avoid*» infolge der hohen Geschwindigkeit der Kampfflugzeuge kein wirkungsvolleres Ausweichmanöver.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Keine

4.2 Sicherheitshinweise

Die SUST kann allgemeine sachdienliche Informationen in Form von Sicherheitshinweisen veröffentlichen³⁴, wenn eine Sicherheitsempfehlung nach der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 nicht angezeigt erscheint, formell nicht möglich ist oder wenn durch die freiere Form eines Sicherheitshinweises eine grössere Wirkung absehbar ist.

4.2.1 Kampfflugzeuge in Lufträumen der Klassen G und E

4.2.1.1 Sicherheitsdefizit

Das Prinzip «*see and avoid*» zur Kollisionsverhütung gelangt bei hohen Flugeschwindigkeiten an seine Grenzen. Bei einem erhöhten Aufkommen von unkontrolliertem Luftverkehr in Lufträumen der Klassen G und E besteht daher während Einsätzen von Kampfflugzeugen ein erhöhtes Kollisionsrisiko.

4.2.1.2 Sicherheitshinweis Nr. 50

Zielgruppe: Militärluftfahrtbehörde MAA

Die Militärluftfahrtbehörde (*Military Aviation Authority* – MAA) sollte Massnahmen ergreifen, um die Kollisionsrisiken bei Flügen von Kampfflugzeugen mit hoher Geschwindigkeit in den Lufträumen der Klassen G und E zu begrenzen, beispielsweise durch die generelle Zusicherung von Verkehrshinweisen an Kampfflugzeuge in Lufträumen der Klassen G und E.

4.2.1.3 Sicherheitshinweis Nr. 51

Zielgruppe: Piloten der allgemeinen Luftfahrt

Piloten der allgemeinen Luftfahrt sollten dafür besorgt sein, dass ihr Luftfahrzeug mit einem Transponder ausgerüstet und dieser stets eingeschaltet ist, damit insbesondere Piloten schnell fliegender Kampfflugzeuge rechtzeitig vor gefährlichen Annäherungen gewarnt werden und ausweichen können.

4.3 Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

Keine

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, 28. November 2023

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

³⁴ Artikel 56 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Februar 2015 (VSZV, SR 742.161)