



VEREISUNG

Nr. 21, Oktober 2015

EISBILDUNG

Wassertropfen in Wolken können sich weit unter 0 °C abkühlen, ohne zu gefrieren. Werden diese unterkühlten Wassertropfen erschüttert, wie es beim Durchflug eines Flugzeuges durch eine Wolke der Fall sein kann, dann gehen sie schlagartig in den Eiszustand über und frieren an der Flugzeugoberfläche fest. Das Flugzeug vereist.

Die Vereisungsgefahr hängt von folgenden Faktoren ab:

- **Flüssigwassergehalt der Wolken**

Der Flüssigwassergehalt der Wolken bestimmt zusammen mit der Temperatur Größe und Anzahl der vorhandenen unterkühlten Wassertropfen und damit auch das „Bombardement“, dem die gefährdeten Flugzeugteile ausgesetzt sind. Hiervon wiederum hängt die Geschwindigkeit des Eisaufbaues ab.

- **Temperatur des unterkühlten Wassers**

Beim Übergang des Wassers vom flüssigen in den festen Zustand wird Wärme frei. Wenn nun die unterkühlten Wassertropfen eine Temperatur haben, die nicht weit vom Gefrierpunkt entfernt liegt (ca. 0 °C bis -10 °C), sorgt diese freiwerdende Wärmemenge dafür, dass nicht sofort das gesamte Wasser beim Aufschlag auf das Flugzeug zu Eis erstarrt. Ein Teil des Wassers kann sich vor dem Gefrieren flächig an das Flugzeug anlegen und haftet deshalb sehr gut. Wenn sich die Flugzeugvereisung in diesem Temperaturbereich Schicht für Schicht aufbaut, entsteht so genanntes Klareis (Clear Ice).

Vereisung ist nicht nur ein Thema für den Winter, sondern auch für Herbst und Frühjahr, wenn die Nullgradgrenze in niedriger Höhe liegt und der IFR-Flug durch Wolken führt. Aber selbst unter VFR kann man von Vereisung überrascht werden. Eisansatz am Flugzeug führt zur Erhöhung des Widerstandes, Verminderung des Auftriebes, Gewichtszunahme, im schlimmsten Fall zur Blockierung der Ruder, Leistungsverlust der Triebwerke, Sichtminderung und Ausfall von Anzeigen.

Über die Gefahren der Vereisung wurde vom Luftfahrt-Bundesamt in einer Flugsicherheitsmitteilung fsm 2/81 bereits im Jahr 1981 informiert. Die fsm ist weiter aktuell und wird hier in leicht geänderter Form veröffentlicht. Auch das European General Aviation Safety Team EGAST hat gerade ein Heft zum Thema „In Flight Icing“ herausgegeben, dass unter www.easa.europa.eu/essi/egast/ heruntergeladen werden kann.

Bei Temperaturen unter $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ reicht die beim Übergang der unterkühlten Wassertropfen in den festen Zustand frei werdende Wärmemenge nicht mehr aus, einen Teil des Wassers beim Aufschlag auf das Flugzeug flüssig zu halten. Die entstehenden Eisteilchen haben nur eine kleine Haftoberfläche. Es bildet sich das sogenannte Raueis (Rime Ice) aus, das sich in der Regel nur an den aerodynamischen Vorderkanten des Flugzeuges ansetzt.

- **Aufenthaltsdauer unter Vereisungsbedingungen**

Je länger sich ein Flugzeug ungeschützt in Vereisungsbedingungen aufhält, umso dicker wird die Eisschicht an den gefährdeten Stellen. Selbst mit einer Vereisungsschutzanlage ist es bei vielen Flugzeugen nicht immer möglich, sie beliebig lange in Vereisungsbedingungen zu betreiben. Die Vereisungsgefahr steigt mit zunehmender Verweilzeit.

Am häufigsten tritt Vereisung beim Flug durch Wolken auf. Es sind aber Umstände möglich, bei denen die Flugzeugzelle auch außerhalb von Wolken vereisen kann:

- Fällt aus einer aufgleitenden Warmfront Regen in darunterliegende Kaltluft, deren Temperatur weniger als $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt, dann werden die ausfallenden Regentropfen unterkühlt. Beim Auftreffen auf das Flugzeug bildet sich sofort Klareis.
- Nach einem längeren Flug in größeren Höhen und damit niedriger Temperatur sind die nicht beheizten Teile des Flugzeuges stark unterkühlt. Während des folgenden Abstieges in wärmere Luftschichten können an der Flugzeugoberfläche Kondensationsbedingungen erreicht werden, wodurch der Wasserdampf an den kalten

Hautblechen gefriert. Es baut sich eine Eisschicht auf, obwohl unter Umständen kein Wölkchen am Himmel steht und die Außentemperatur über $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Da der Kraftstoff bei Unterbringung in den Flügeln in der Regel die größte unterkühlte Masse ist, wird das Eis im Bereich der Tanks am ehesten entstehen und sich am längsten halten.

AUSWIRKUNGEN VON VEREISUNG

VERÄNDERUNG DES PROFILS

Eisansatz beginnt in der Regel an den Stirnflächen des Flugzeuges: an der Bugspitze, an den Nasen-



So „dramatisch“ kann die Vereisung einer Tragfläche aussehen

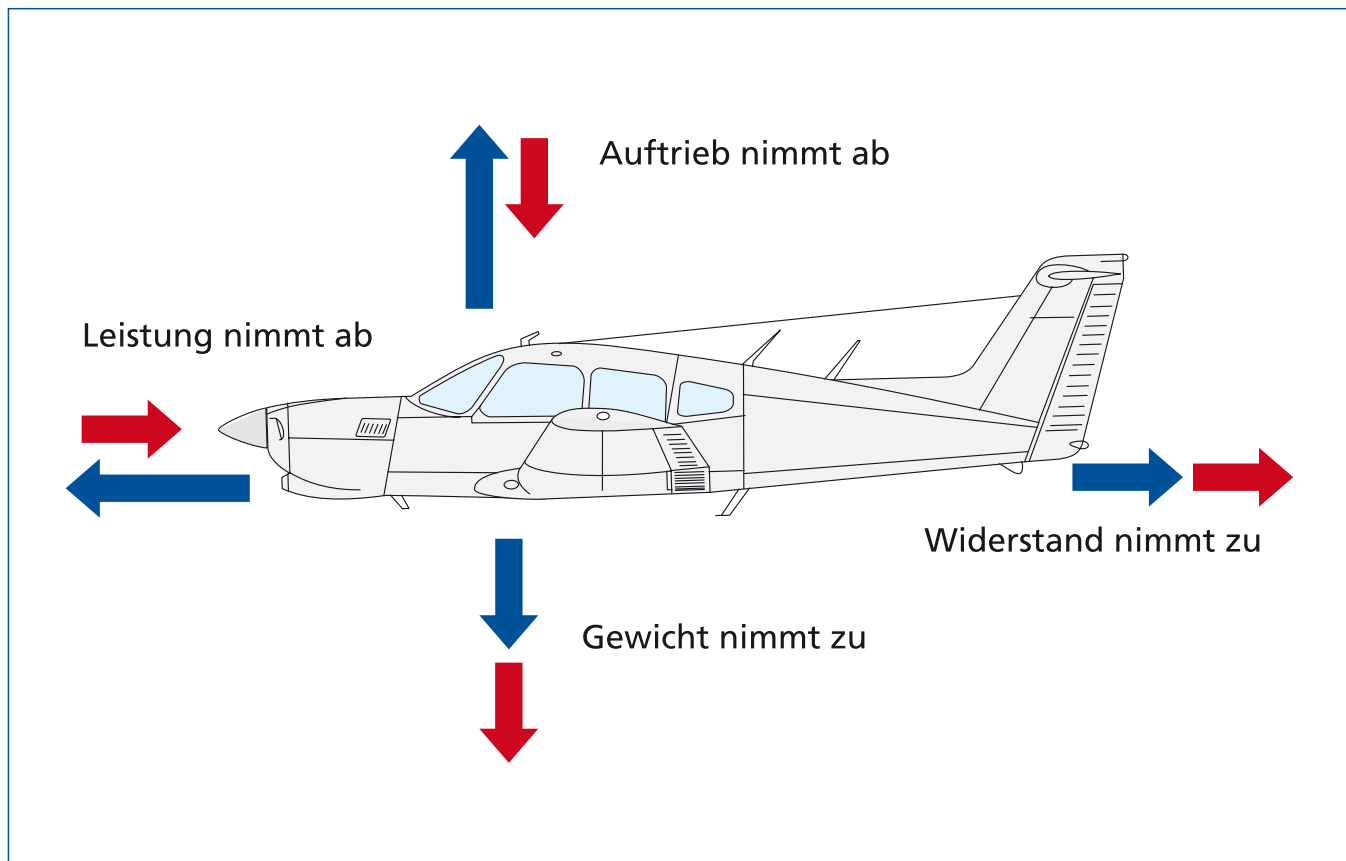
radien der aerodynamischen Profile, an den Vorderkanten von Streben und Antennen. Gerade diese Bereiche haben eine große Bedeutung für die Umströmung des gesamten Körpers. Es tritt eine starke Widerstandszunahme auf.

Die Widerstands- und Auftriebsänderung von Tragflügel- und Leitwerksprofilen hängt natürlich stark von der Form des Eisaufbaues am Nasenradius ab. Versuche haben gezeigt, dass Eisansatz an einem Tragflügelprofil eines kleinen Privatflugzeuges den

wird also stark eingeengt. Es kann sogar dazu kommen, dass die beiden Geschwindigkeitsgrenzen ineinanderlaufen und ein sicherer Flug nur durch Höhengabe möglich ist.

GEWICHTSZUNAHME

Ein dm^3 (1 Liter) Eis wiegt je nach Dichte etwa 0,8 kg. Bei schwerer Vereisung können sich ohne weiteres ca. 10 kg Eis je Meter Profil- und Strebenvorderkante an dem Flugzeug festsetzen. Selbst bei kleinen Flugzeugen ist deshalb mit über 150 kg Gewichts-



Auswirkungen von Vereisung auf die Flugleistung

Widerstand auf einen bis zu fünffachen Wert gegenüber dem eisfreien Profil anwachsen lässt. Außerdem bricht bei den durch Eisansatz beeinträchtigten Tragflügel- und Leitwerkprofilen der Auftrieb infolge der Strömungsablösung bei schon geringer Anstellwinkeländerung abrupt ab.

Als Folge der aerodynamischen Veränderungen an den Tragflügelprofilen ergibt sich eine Erhöhung der Mindestfluggeschwindigkeit bzw. Überziehgeschwindigkeit (Stalling Speed) und – wegen der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Motorleistung – eine Verringerung der größten fliegbaren Horizontalgeschwindigkeit. Der Fluggeschwindigkeitsbereich

zunahme zu rechnen, wenn der Eisansatz nicht vermieden oder das entstandene Eis nicht rechtzeitig beseitigt wird. Was bei einem beladenen Flugzeug eine derartige Gewichtszunahme zusätzlich zu den Veränderungen der Profilkontur bedeutet, kann sich jeder Luftfahrer vorstellen.

LASTIGKEITSÄNDERUNG

Die größten Außenflächen an Flugzeugen befinden sich meist hinter dem Schwerpunkt. Bei flächiger Vereisung (Klareis) kann das Flugzeug neben den bereits beschriebenen Folgen zunehmend schwanzlastig und im Extremfall nicht mehr steuerbar werden.

ASYMMETRIE UND VIBRATION

Gefährliche Situationen können z. B. entstehen, wenn das Eis sich nur von einer Seite der Tragfläche löst, an der anderen Seite hingegen haften bleibt. Das Flugzeug kann dann nur noch oberhalb einer Geschwindigkeit um die Längsachse steuerbar bleiben, die weit über der normalen Landegeschwindigkeit liegt.

Besonders unangenehm und teilweise gefährlich können Vibrationen und Schwingungen durch asymmetrischen Eisansatz an Propellerblättern und Rotoren werden.

Auch vereiste Ruder können durch die Veränderung des Profils und durch die ungünstigen Massenverhältnisse zu gefährlichen Leitwerkschwingungen führen.

SICHTVERLUST

Frontscheiben gehören zu den exponiertesten vereisungsgefährdeten Bauteilen. Durch Eisansatz werden sie undurchsichtig. Obwohl die Seitenscheiben in der Regel eisfrei bleiben, ist die Flugführung dennoch in gefährlicher Weise beeinträchtigt. Als besonders schwerwiegend kann sich die durch den Sichtverlust hervorgerufene räumliche Desorientierung des Piloten auswirken.

BLOCKIEREN DER RUDER

Ruderspalt sind Unstetigkeitsstellen im Profilverlauf, die bezüglich der Vereisung eine ähnliche Wirkung haben wie Vorderkanten. Halten sich Flugzeuge längere Zeit in Vereisungsbedingungen auf, können die Ruderspalt durch Eisansatz zuwachsen und die Ruder blockieren. Damit wäre dann die Steuerbarkeit zumindest eingeschränkt.

LEISTUNGSABFALL UND TRIEBWERKSSCHÄDEN

Unter Zellenvereisungsbedingungen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die Propellerblätter ebenfalls vereisen und bei Kolbenmotoren Vergaservereisung auftritt und der Luftfilter durch Eisansatz undurchlässig wird. Dies alles kann zu Leistungsabfall, im schlimmsten Fall zu Motorstillstand führen.

Auch Turbinen- und Propellerturbinentriebwerke können Leistungseinbußen erleiden, wenn Eisansatz am Lufteinlauf die Strömungsverhältnisse stört. Weiter kann es dann zu schweren Triebwerksstörungen kommen, wenn abplatzende Eisstücke angesaugt werden und den Fan und Kompressor beschädigen.

AUSFALL VON ANZEIGEN

Die Anzeige aller Instrumente, die von der Außenluft umströmte Sensoren benutzen, ist durch Vereisung gefährdet. Dazu gehören Stau- und Statik-Instrumente wie Fahrtmesser, Höhenmesser und Variometer, ebenso wie Überziehwarnanlagen und Anstellwinkelanzeigen.

Da im Vereisungsfall die augenblickliche Anzeige „einfriert“, ist der Instrumentenausfall vom Piloten kaum festzustellen, wenn er nicht auf kleinere Unregelmäßigkeiten und ungewohnte Anzeigen achtet.

AUSFALL VON FUNKANLAGEN

Bei den Funkanlagen sind Antennen gefährdet. Durch starken Eisansatz kann z. B. die ADF-Antenne, wenn noch vorhanden, durch Gewichtsüberlastung und zu hohem Widerstand abgerissen werden.

Auf den Antennen für die VOR-Empfänger und Sprechfunkgeräte kann der Eisanter derart dämpfend wirken, dass diese Anlagen unbenutzbar werden – unter Instrumentenflugbedingungen keine günstigen Aussichten.

VEREISUNG VERMEIDEN

FLUGZEUGE OHNE VEREISUNGSSCHUTZ

Am wirksamsten vermeidet man die Vereisungsgefahr, wenn man überhaupt nicht in Gebiete einfliegt, in denen mit Vereisungsgefahr gerechnet werden muss. Dazu ist es notwendig, dass man vor jedem Flug, der in Flughöhen oberhalb der 0 °C-Grenze durchgeführt werden soll, ein ausführliches MET-Briefing durchführt. Hinweise auf Vereisung bzw. Vereisungsgebiete und auf den möglichen Schweregrad der Vereisung müssen ernst genommen werden. Die Flugroute muss auf jeden Fall so geplant werden, dass in vorhergesagte Vereisungsgebiete nicht eingeflogen wird. Unter Umständen muss der Flug verschoben werden.

Sollte trotz aller Vorsicht das Flugzeug unerwartet vereisen, befindet man sich in einer akuten Notlage:

- Zögern Sie nicht, wenn erforderlich, sofort über Funk den Luftnotfall zu erklären.



Eisansatz am Seitenleitwerk

- Wenn nicht bereits geschehen, schalten Sie, soweit möglich und vorhanden, die Heizung der Anlagen Ihres Flugzeugs ein (Staurohrheizung, Vergaservorwärmung, Überziehwarnung usw.).
- Bei manchen Flugzeugmustern kann der statische Druck nach Umschaltung dem Kabinenraum entnommen werden (Alternate Static Source). Hierbei sind allerdings Anzeigefehler zu erwarten, über deren Größe das Flughandbuch Auskunft gibt. Nutzen Sie die Umschaltmöglichkeit, wenn Sie Zweifel an Ihren Anzeigen haben.
- Auswirkungen der Filtervereisung können Sie bei manchen Flugzeugmustern dadurch verhindern, dass Sie die Warmluftklappe öffnen (Alternate Air). Die höhere Temperatur der dann dem Motorraum entnommenen Luft führt zwar zu einer Leistungsverringerung, die aber im Interesse der Sicherheit in Kauf genommen werden sollte.
- Suchen Sie sofort wärmere Luftmassen auf. Ein Abstieg in geringere Höhen ist meistens, aber nicht immer, richtig und ausreichend. Eine sofortige Umkehr verhindert fast immer weitere Vereisung.
- Achten Sie besonders auf ausreichende Geschwindigkeit. Wenn Sie die Geschwindigkeit verringern wollen oder müssen, tun Sie dies langsam und vorsichtig, da Sie die Grenzen des Flugzeuges noch nicht kennen und erst erfliegen müssen.
- Auch das Ausfahren der Klappen kann wegen der Erhöhung des Widerstandes unter Umständen zum Überziehen führen. Deshalb kann es besser sein, die Landeklappen nur sparsam zu setzen, wenn überhaupt.
- Sollten die Ruder schwergängig bzw. fest werden, kann mit der Trimmung und bei vielen Flugzeugmustern auch mit Veränderung der Motorleistung begrenzt um die Querachse gesteuert werden (allerdings ist bei der Trimmung durch Hilfsrudder eine Wirkungsumkehr zu erwarten und zu beachten).



Eisansatz am Propeller

- Durch Drehzahländerungen oder Änderungen des Einstellwinkels bei Verstellpropellern kann es in einigen Fällen möglich sein, den entstehenden oder schon vorhandenen Eisansatz am Propeller gering zu halten oder zu beseitigen.
- Begegnen Sie den Triebwerksvibrationen infolge Propellervereisung durch Drehzahlminderung. Achten Sie jedoch auf ausreichende Flugeschwindigkeit.
- Bewegen Sie, wenn Sie an Ihrem Flugzeug Eisansatz bemerken, die Ruder, um das Zuwachsen der Ruderspaltens hinauszuögern oder zu verhindern.
- Auch wenn Sie eine Vereisungslage glücklich durchstanden haben, müssen Sie damit rechnen, dass Ihre Steuerung durch Eisansatz im Bewegungsbereich eingeschränkt sein kann, da Sie im Reiseflug normalerweise mit geringer Ruderbetätigung fliegen. Zur Landung benötigen Sie unter Umständen aber den vollen Ruderausschlag! Überzeugen Sie sich deshalb vor Beginn der Landung von der vollen Aus-
- schlagfähigkeit sämtlicher Ruder, soweit dies bei Ihrem Flug zulässig ist, und erzwingen Sie diese notfalls mit maßvollem Kraftaufwand, um die Ruder „loszubrechen“.
- Der Landeanflug mit vereistem Flugzeug sollte hoch und schnell erfolgen. Die Beendigung der Landung jenseits des Landebahnendes mit geringer Restgeschwindigkeit wird meistens glimpflicher verlaufen als ein Überziehen. Besonders bei einem vereistem Flugzeug gilt: Fahrt ist das halbe Leben!
- Suchen Sie notfalls mit dem noch flugfähigen Flugzeug rechtzeitig einen Notlandeplatz auf.

FLUGZEUGE MIT VEREISUNGSSCHUTZ

Flüge unter Wetterbedingungen, bei denen Vereisung zu erwarten ist, dürfen nur mit Flugzeugen durchgeführt werden, die mit Einrichtungen zur Verhütung oder Beobachtung und Beseitigung von Eisansatz ausgerüstet sind (§ 21, Absatz 3 LuftBO). Dieser Vereisungsschutz an Tragflächen, Höhen- und Seitenleitwerk sowie an Propellern und Frontscheibe ist sehr aufwendig und daher

meist nur bei größeren Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt zu finden. Bei richtigem Gebrauch der Vereisungsschutzanlage kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass ein Flug auch unter schweren Vereisungsbedingungen sicher überstanden werden kann. Dies gilt allerdings nicht für unbegrenzte Zeit. Vor Antritt des Fluges muss daher überprüft werden, ob die Aufenthaltsdauer in Gebieten mit Vereisungsbedingungen möglicherweise größer sein wird als nach dem Flughandbuch zugelassen. Die in den Flughandbüchern einiger Flugzeuge enthaltenen Beschränkungen hinsichtlich des Grades der Vereisung sind ebenfalls unbedingt zu beachten.

Auf jeden Fall gilt:

- Bewahren Sie den Respekt vor Vereisung und verweilen Sie in Vereisungsgebieten nicht länger, als unbedingt erforderlich. Vermeiden Sie möglichst den Temperaturbereich von 0 °C bis -10 °C und durchqueren Sie Frontsysteme möglichst rechtwinklig, also auf dem kürzesten Weg.
- Prüfen Sie, soweit möglich, bei der Vorflugkontrolle die Funktionstüchtigkeit der Vereisungsschutzanlage.
- Achten Sie während des Fluges stets darauf, ob die Vereisung nicht stärker auftritt als erwartet.

- Machen Sie sich mit den Betriebsanweisungen aller Elemente Ihrer Vereisungsschutzanlage gründlich vertraut, da diese durch fehlerhafte Bedienung möglicherweise völlig unwirksam sein oder gemacht werden können.

Einige Flugzeuge sind zwar nicht für den Betrieb unter Vereisungsbedingungen zugelassen, sie können aber mit einer Vereisungsschutzanlage oder mit Teilen einer solchen Anlage ausgerüstet sein. Es ist unzulässig, mit dazu nicht zugelassenen Flugzeugen in Gebiete einzufliegen, in denen Vereisung zu erwarten ist. Bei diesen Flugzeugen bieten die eingebauten Anlagen zur Verhütung oder zur Beobachtung und Beseitigung von Eisansatz lediglich einen zusätzlichen Schutz für den Fall, dass das Flugzeug trotz aller Umsicht und trotz gewissenhafter Flugvorbereitung unerwartet vereist. Ein optimaler Schutz ist gegeben, wenn folgende Komponenten, soweit sie durch ihre Bauweise oder ihren Einbauort vereisungsgefährdet sind, durch entsprechende Anlagen geschützt werden:

- Tragflächen, Höhen- und Seitenflossen, Propeller, Frontscheiben, alle Stau- und Statikdrucksonden für Fahrtmesser, Höhenmesser und Variometer, Fluglageinstrumente, Überziehwarnanlage, Antennenanlagen und Tankentlüftung.

Außerdem muss dafür gesorgt sein, dass eventuell einsetzende Vereisung bei Tag und Nacht rechtzeitig erkannt wird.

VEREISUNG – EIN THEMA NUR FÜR DEN WINTER?

Wenn im Herbst die Außentemperaturen langsam zurückgehen und die ersten Nachtfröste zu verzeichnen sind, erinnern sich viele Luftfahrer an die Vereisungsgefahr und lassen bei der Flugvorbereitung entsprechende Vorsicht walten. Der Frühling lässt dann die Vorsicht bald verblassen und sehr schnell denkt kaum noch jemand an diese Gefahr. Und doch ist sie bei uns in Deutschland immer gegenwärtig.

**Deshalb ist Vereisung ein „Ganzjahresthema“.
Auch für Vereisungswetterlagen gilt:**

**„Vorsicht ist keine Feigheit“
„Im Zweifelsfall nie!“**

MASSNAHMEN BEI EISBILDUNG

- Erwägen Sie sofort die möglichen Alternativen, um mögliche Risiken zu minimieren. Auch wenn die Bildung von nur wenig Eis keine Notlage bedeutet, so ist doch höchste Aufmerksamkeit geboten. Auf jeden Fall sollte man einen Plan bereit haben, wie man vorgeht, wenn sich der Eisansatz hält oder sogar noch verstärkt.
- Die Vorgehensweise sollte im Einklang mit den Angaben im Flughandbuch sein, wie z. B. Wahl der Alternate Air. Die Pitot-Heizung sollte natürlich auf jeden Fall schon eingeschaltet sein. Meist ist auch der Autopilot auszuschalten bzw. unter Vereisungsbedingungen ganz verboten.
- Ist eine Enteisungsanlage vorhanden, so muss sie gemäß dem Flughandbuch verwendet werden. Allerdings sollte man sich auf diese Anlage allein nicht verlassen und daher nicht in Gebiete mit unbekannten Vereisungsbedingungen einfliegen. Insbesondere Enteisungsanlagen am Propeller können helfen, Leistungsabfall zu vermeiden.
- Beobachten Sie sorgfältig die Zunahme der Eisbildung. Dabei sollte man daran denken, dass sich Eis auch an nicht sichtbaren Stellen am Flugzeug bilden kann und dort eventuell schneller aufbaut als an den aus dem Cockpit sichtbaren Stellen.
- Nehmen Sie Kontakt mit ATC auf, um mögliche andere Flughöhen oder andere Flugrouten zu erfragen.
- Verlassen Sie das Gebiet mit Vereisung bevor die Flugleistung nachlässt oder das Flugzeug in der Kontrolle eingeschränkt wird.
- Denken Sie daran, dass die Überziehgeschwindigkeit mit vereisten Tragflächen zunimmt!
- Fliegen Sie bei Vereisung gegebenenfalls mit einer höheren Geschwindigkeit an und landen mit zusätzlicher Triebwerksleistung. Unter Umständen muss ein Flugplatz mit einer ausreichend langen Landebahn angeflogen werden.
- Seien Sie sich bewusst, dass beim Klappenausfahren möglicherweise stärkere Bewegungen um die Querachse auftreten – gegebenenfalls muss die Klappenstellung korrigiert werden.

Autor:

Jürgen Mies

Fotos:

Die verwendeten Fotos sind dem „EGAST Leaflet GA10, In Flight Icing“ entnommen.

Quellen:

- „Vereisung“, Flugsicherheitsmitteilung fsm 2/81, Luftfahrt-Bundesamt, Braunschweig, August 1981
- „In Flight Icing“, EGAST Leaflet GA10, EASA, Köln, März 2015
- „Aircraft Icing“, Safety Advisor, AOPA Air Safety Foundation, Frederick, USA, 2002

Haftungsausschluss:

Die Informationen und Daten in diesem AOPA Safety Letter sind vom Autor und der AOPA-Germany sorgfältig erwogen und geprüft. Dennoch kann eine Garantie für Richtigkeit und Vollständigkeit nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors bzw. von AOPA-Germany und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

HERAUSGEBER

AOPA-Germany e.V.
Außerhalb 27 / Flugplatz
63329 Egelsbach

www.aopa.de