

Flugbetrieb IFR/VFR

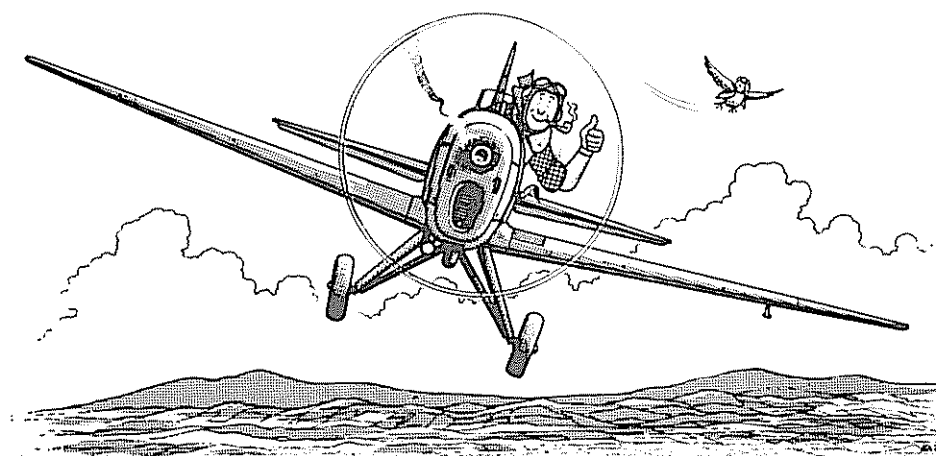
Vereisung

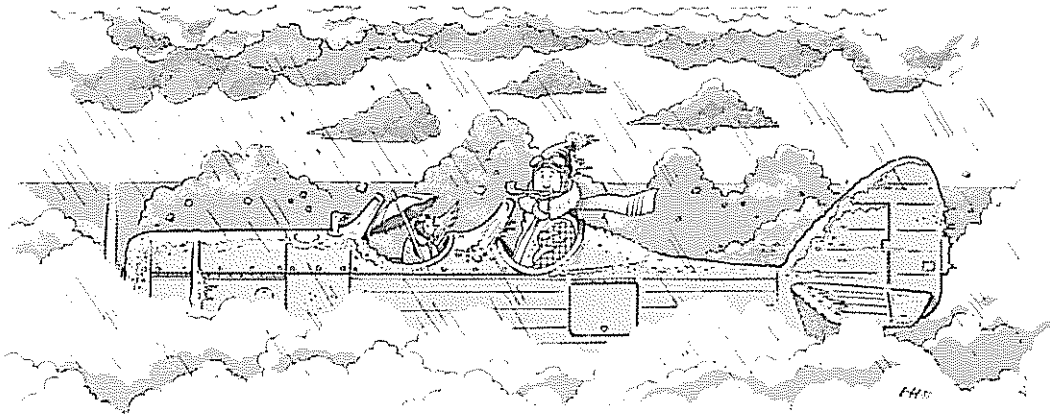
Braunschweig, den 1. 8. 1981
LBA III 3 – 985.1/81
Nachdruck 1995

Vereisung

Eisansatz ergibt Erhöhung des Widerstandes, Verminderung des Auftriebes, Gewichtszunahme, Blockierung der Ruder, Leistungsverlust oder Zerstörung der Triebwerke, Sichtminderung und Ausfall von Anzeigen und Funkanlagen und gefährdet so in vielfacher Weise den sicheren Flug.

Diese Flugsicherheitsmitteilung informiert Sie über die Gefahren der Vereisung sowie über Möglichkeiten zu deren Vermeidung und Abwehr.





Wie kommt es zur Luftfahrzeug-Vereisung?

Wassertropfen gehen bei Temperaturen unter 0°C in Eiszustand über, wenn sie z.B. erschüttert werden, wie es beim Aufprall auf das Luftfahrzeug der Fall ist. Die unterkühlten Wassertropfen gehen dann schlagartig in den Eiszustand über und frieren an der Luftfahrzeugoberfläche fest. Das Luftfahrzeug vereist.

Die Vereisungsgefahr hängt von folgenden Faktoren ab:

1. Dem Flüssigwassergehalt der Wolken
2. Der Temperatur des unterkühlten Wassers
3. Der Aufenthaltsdauer unter Vereisungsbedingungen

Zu 1.

Der Flüssigwassergehalt der Wolken bestimmt zusammen mit der Temperatur Größe und Anzahl der vorhandenen unterkühlten Wassertropfen und damit auch das „Bombardement“, dem die gefährdeten Luftfahrzeugteile ausgesetzt sind. Hiervon wiederum hängt die Geschwindigkeit des Eisaufbaues ab. Deshalb wird vom Deutschen Wetterdienst auch eine Warnung vor Vereisung aufgrund des Flüssigwassergehaltes und der Temperaturverhältnisse in den Wolken ausgesprochen.

Zu 2.

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 Luftfahrzeug zu Eis erstarrt. Ein Teil des Wassers kann sich vor dem Gefrieren flächig an das Luftfahrzeug anlegen und haftet deshalb sehr gut. Wenn sich die Luftfahrzeug-Vereisung in diesem Temperaturbereich Schicht für Schicht aufbaut, entsteht sogenanntes „Klareis“ (clear ice).

Bei Temperaturen unter -10°C reicht die beim Übergang der unterkühlten Wassertropfen in den festen Zustand freiwerdende Wärmemenge nicht mehr aus, einen Teil des Wassers beim Aufschlag auf das Luft-

fahrzeug flüssig zu halten. Die entstehenden Eisteilchen haben nur eine kleine Haftoberfläche. Es bildet sich dann das sogenannte „Rauheis“ (rime ice) aus, das sich in der Regel nur an den aerodynamischen Vorderkanten des Luftfahrzeugs ansetzt.

Die Merkmale von Rauheis und Klareis sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Aus ihr ergibt sich für das Luftfahrzeug die vergleichsweise größere Gefährdung durch Klareisbildung, d.h. bei Flügen unter Vereisungsbedingungen im Temperaturbereich von 0°C bis -10°C .

Tabelle 1

	Rauheis (rime ice)	Klareis (clear ice)
Oberfläche	rauh, bizarr	glatt, glasig
Aussehen bei Draufsicht	weiß	dunkel, naß
Durchsicht	undurchsichtig	durchsichtig, aber trüb
Unterkühlung	stark	gering
Entstehung	durch kleine Tropfen	durch große Tropfen
Temperaturbereich (hauptsächlich)	unter -10°C	zwischen 0°C und -10°C
Haftfähigkeit	gering	sehr gut
Festigkeit	spröde	zäh, sehr fest
Wachstum	luvwärts	Flächen überziehend

Zu 3.

Je länger sich ein Luftfahrzeug ungeschützt in Vereisungsbedingungen aufhält, um so dicker wird die Eisschicht an den gefährdeten Stellen. Selbst mit einer Vereisungsschutzanlage ist es bei vielen Luftfahrzeugen 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 noch zwei weitere Umstände zu beschreiben, unter denen Vereisung der Luftfahrzeugzelle auftreten kann:

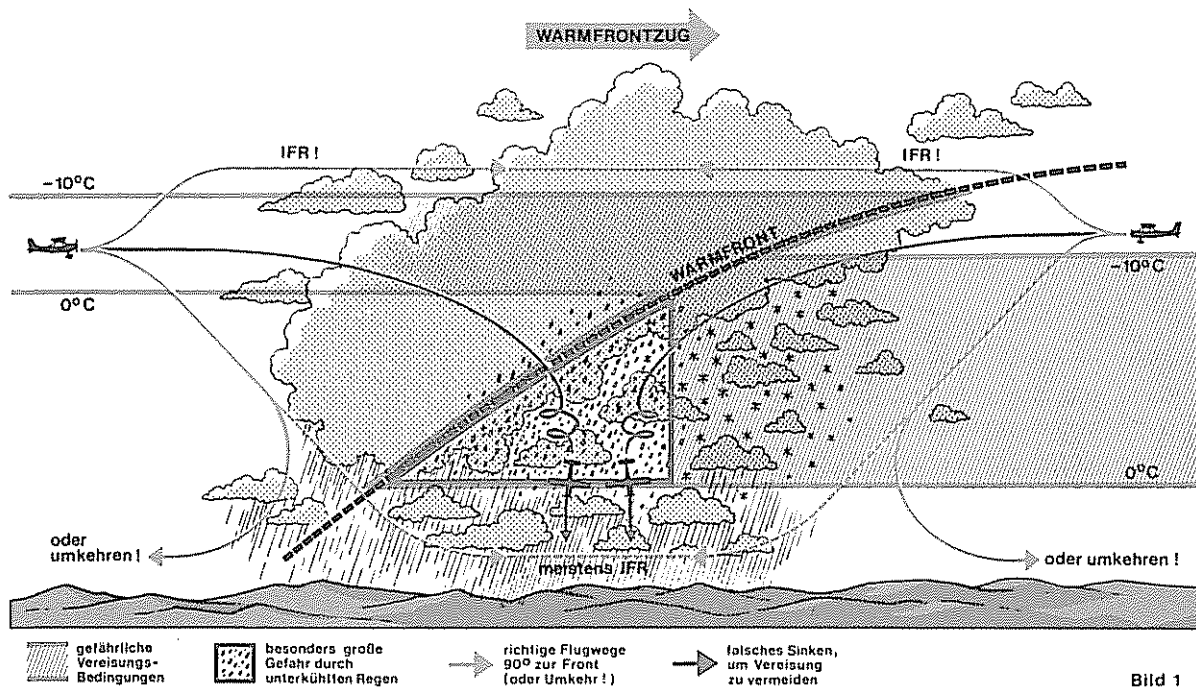


Bild 1: Vereisungsgefährdung in einer aufgleitenden Warmfront.

1. Fällt aus einer aufgleitenden Warmfront Regen in darunterliegende Kaltluft, deren Temperatur weniger als 0°C beträgt, dann werden die ausfallenden Regentropfen unterkühlt (s. Bild 1). Beim Auftreffen auf das Luftfahrzeug bildet sich sofort Klareis.
2. Nach einem längeren Flug in größeren Höhen und damit niedriger Temperatur sind die nicht beheizten Teile des Luftfahrzeuges stark ausgekühlt. Während des folgenden Abstieges in wärmere Luftschichten können an der Luftfahrzeugoberfläche Kondensationsbedingungen erreicht werden, wodurch der Wasserdampf an den kalten Hautblechen gefriert. Es baut sich eine Eisschicht auf, obwohl u.U. kein

Wölkchen am Himmel steht und die Außentemperaturen über 0°C liegen. 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.

Wie wirkt sich nun Vereisung aus?

a) Durch Veränderung der Profilkontur

Eisansatz beginnt in der Regel an den Stirnflächen des Luftfahrzeuges: An der Bugspitze, an den Nasenradien der aerodynamischen Profile, an den Vorderkanten von Streben und Antennen (s. Bild 2).

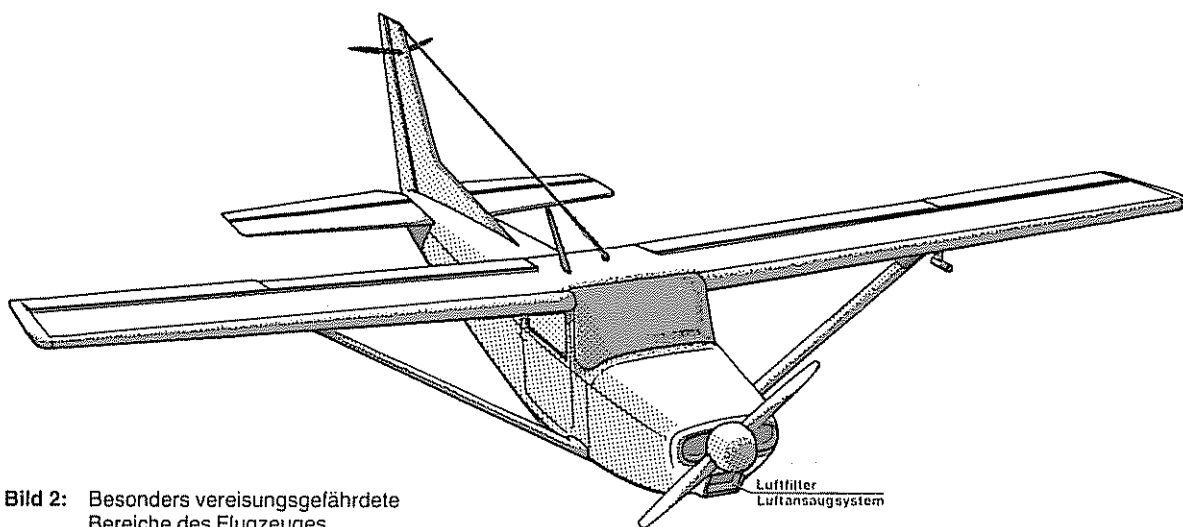


Bild 2: Besonders vereisungsgefährdete Bereiche des Flugzeuges.

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 Leitwerkprofilen hängt natürlich stark von der Form des Eisaufbaues am Nasenradius ab. Versuche haben gezeigt, daß Eisansatz an einem Tragflügelprofil eines typischen kleinen Privatreiseflug-

zeuges den Widerstand auf einen bis zu fünffachen Wert gegenüber dem eisfreien Profil anwachsen läßt, während der maximale Auftrieb um 40 % geringer werden kann. Außerdem bricht bei den durch Eisansatz beeinträchtigten Tragflügel- und Leitwerkprofilen der Auftrieb infolge der Strömungsablösung bei schon geringer Anstellwinkeländerung abrupt zusammen (s. Bild 3).

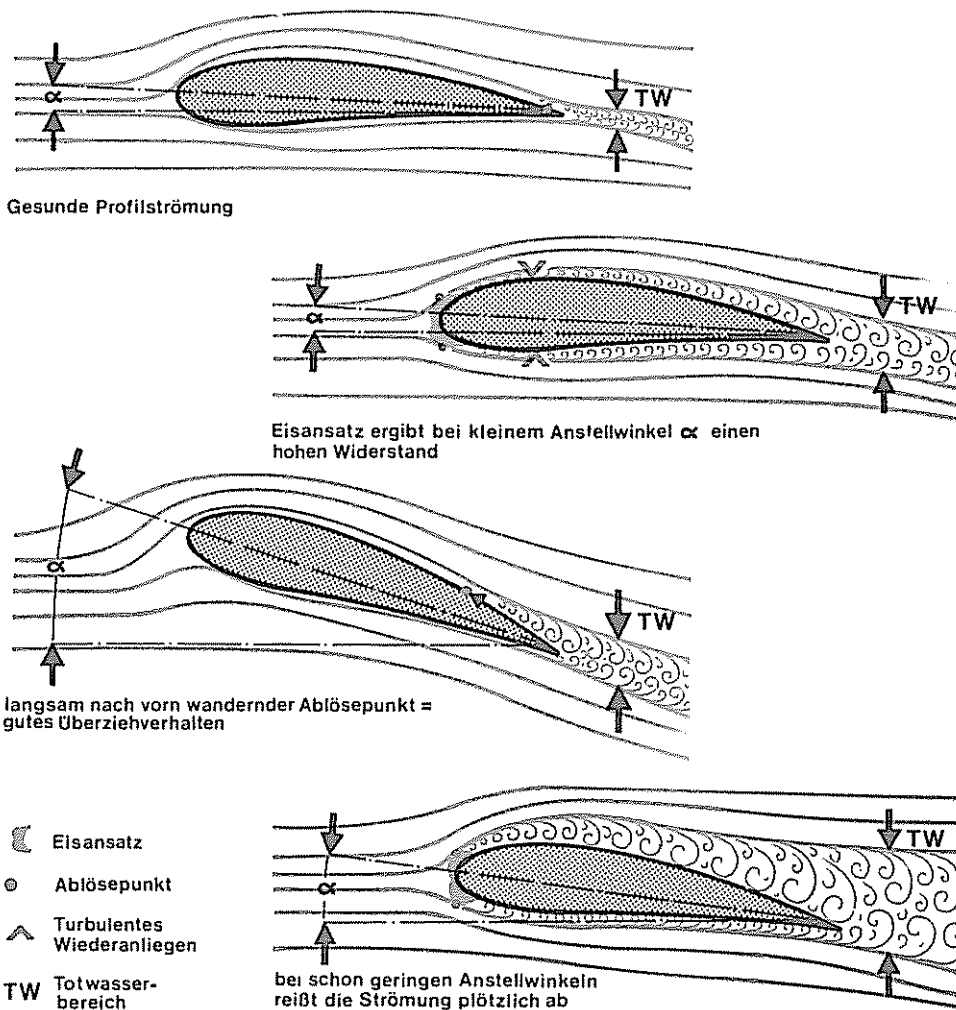


Bild 3: Wirkung von Vereisung an aerodynamischen Profilen.

Als Folge der aerodynamischen Veränderungen an den Tragflügelprofilen ergibt sich eine drastische Erhöhung der Mindestfluggeschwindigkeit und – wegen der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Motorleistung – eine Verringerung der größten fliegbaren Horizontalgeschwindigkeit. Der Fluggeschwindigkeitsbereich wird also stark eingeeengt. Es kann sogar dazu kommen, daß die beiden Geschwindigkeitsgrenzen ineinanderlaufen und ein sicherer (?) Flug nur durch Höhengabe möglich ist.

b) Durch Gewichtszunahme

Ein dm^3 Eis wiegt je nach Dichte ca. 0,8 kg. Bei schwerer Vereisung können sich ohne weiteres ca. 10 kg Eis je Meter Profil- und Strebenvorderkante

an dem Luftfahrzeug festsetzen. Selbst bei kleinen Flugzeugen ist deshalb mit über 150 kg Gewichtszunahme zu rechnen, wenn der Eisansatz nicht vermieden oder das entstandene Eis nicht rechtzeitig beseitigt wird. Was bei einem beladenen Luftfahrzeug eine derartige Gewichtszunahme zusätzlich zu den unter „Veränderung der Profilkontur“ beschriebenen Beeinträchtigungen bedeutet, kann sich jeder Luftfahrer vorstellen.

c) Durch Lastigkeitsänderung

Die größten Außenflächen an Luftfahrzeugen 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.

d) Durch 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 haftenbleibt. Das Luftfahrzeug 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.

e) Durch Sichtverlust

Frontscheiben gehören zu den exponiertesten ver-

eisungsgefährdeten Bauteilen. Durch den Eisansatz werden sie undurchsichtig. Obwohl die Seitenscheiben in der Regel eisfrei bleiben, ist die Flugführung dennoch in gefährlicher Weise beeinträchtigt. Als besonders schwerwiegend sehen wir die durch den Sichtverlust hervorgerufene räumliche Disorientierung des Flugzeugführers an, über die wir in unserer fsm 1/73 ausführlich berichtet haben.

f) Durch Blockieren der Ruder

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

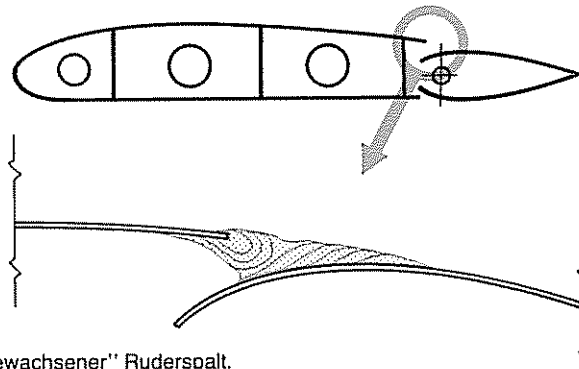
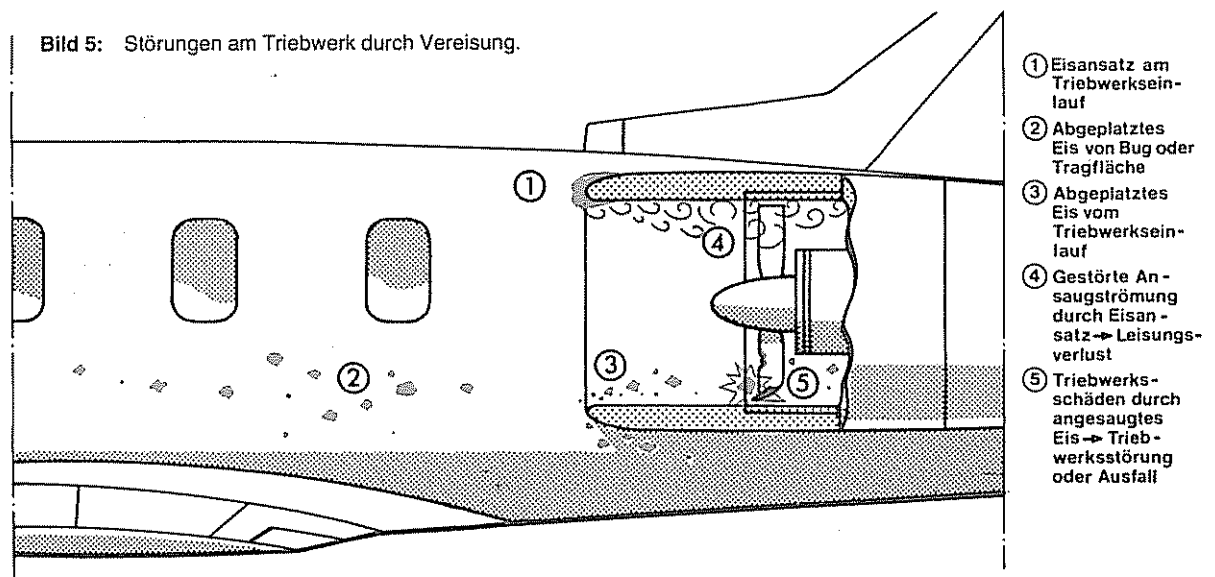


Bild 4: Durch Eisansatz „zugewachsener“ Ruderspalt.

g) Durch Leistungsabfall und Triebwerkschäden

In unserer fsm 3/80 „Hohe Schule der Triebwerk-Dressur“ haben wir auf Gefahren der Vergaservereisung hingewiesen und wie ihnen begegnet werden kann. Wir haben gezeigt, daß Vergaservereisung auch bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt auftreten kann. Unter Zellenvereisungsbedingungen er-

höht sich die Wahrscheinlichkeit, daß bei Kolbenmotoren auch Vergaservereisung auftritt und daß der Luftfilter durch Eisansatz undurchlässig wird. Dies kann zu Leistungsabfall oder gar Motorstillstand führen. Aber auch Turbinen- und Propellerturbinentriebwerke können Leistungseinbußen erleiden, wenn Eisansatz am Lufteinlauf die



Strömungsverhältnisse stört. Weiter kann es dann zu schweren Triebwerkschäden kommen, wenn abplatzende Eisstücke angesaugt werden und den Fan und den Kompressor beschädigen.

h) Durch 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 Luftfahrzeugführer kaum festzustellen, wenn er nicht auf kleine Unregelmäßigkeiten und ungewohnte Anzeigen achtet.

i) Durch Ausfall der Funkanlagen

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

Auf den Antennen für die VOR-Empfänger und Sprechfunkgeräte kann der Eispanzer derart dämpfend wirken, daß diese Anlagen unbenutzbar werden – unter Instrumentenflugbedingungen keine günstigen Aussichten. Bei starker Vereisung der Radar-Antennenabdeckung ist auch ein „verraushtes“ und damit unbrauchbares Wetterradarbild zu erwarten.

Wie kann die Vereisung vermieden werden?

Flugzeuge ohne Vereisungsschutz

Sie vermeiden die Vereisungsgefahr am wirksamsten, wenn Sie überhaupt nicht in Gebiete einfliegen, in denen mit Vereisungsgefahr gerechnet werden muß. Dazu ist es notwendig, daß Sie vor jedem Flug, der in Flughöhen oberhalb der 0° C-Grenze durchgeführt werden soll, bei der Flugwetterberatung nach möglicher Vereisungsgefahr fragen. Die 0° C-Grenze erfahren Sie ebenfalls bei der mündlichen individuellen Wetterberatung, aber auch in der Wetterberatung für die Allgemeine Luftfahrt über automatische Anrufbeantworter (GAFOR).

Daß Sie die Möglichkeit haben, die VOLMET-Wetterfunksendungen, die SIGMET-Meldungen und die ATIS-Informationen zu nutzen, ist Ihnen bekannt. Falls Sie Scheu haben sollten, die angebotenen Dienste zu nutzen, empfehlen wir die Wiederholung der Kapitel COM und NAV des Luftfahrt-Handbuches, die – verkürzt – auch in Ihrem Flieger-Taschenkalender enthalten sind.

Sollte trotz aller Vorsicht Ihr Luftfahrzeug plötzlich und unerwartet vereisen, befinden Sie sich in einer **akuten Notlage**:

1. Zögern Sie nicht, sofort über Funk den **Luftnotfall** zu erklären (Sie wissen nicht, wie lange Sie dazu noch in der Lage sind, siehe „Ausfall der Funkanlage“).
2. Wenn nicht bereits geschehen, schalten Sie, soweit möglich und vorhanden, die Heizung der Anlagen Ihres Luftfahrzeuges (Staurohrheizung, Vergaservorwärmung, Überziehwarnung usw.) ein.
3. Bei manchen Luftfahrzeugmustern 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.
4. Auswirkungen der Filtervereisung können Sie bei manchen Luftfahrzeugmustern 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.
5. Suchen Sie sofort wärmere Luftmassen auf. Ein Abstieg in geringere Höhen ist meistens, aber nicht immer richtig und ausreichend (siehe Bild 1). Eine sofortige Umkehr verhindert fast immer weitere Vereisung.
6. Achten Sie besonders auf ausreichende Geschwindigkeit (siehe „Veränderung der Profilkontur“). Wenn Sie die Geschwindigkeit verringern wollen oder müssen, tun Sie dies langsam und vorsichtig, da Sie die Grenzen des Luftfahrzeuges noch nicht kennen und erst erfliegen müssen.
7. Auch das Ausfahren der Klappen kann wegen der Erhöhung des Widerstandes u.U. zum Überziehen führen. Deshalb empfehlen wir, wenn überhaupt, nur sparsames Setzen der Landeklappen.
8. 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 einer Trimmung durch Hilfsrudder eine Wirkungsumkehr zu erwarten und zu beachten).
9. 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.
10. Begegnen Sie den Triebwerkvibrationen infolge Propellervereisung durch Drehzahlminderung. Achten Sie jedoch auf ausreichende Fluggeschwindigkeit.

11. Bewegen Sie, wenn Sie an Ihrem Flugzeug Eisansatz bemerken, die Ruder, um das Zuwachsen der Ruderspaltens hinauszuögern oder zu verhindern.
12. 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 u.U. aber den vollen Ruderausschlag! Überzeugen Sie sich deshalb vor Beginn der Landung von der vollen Ausschlagfähigkeit sämtlicher Ruder, soweit dies bei Ihrem Flug zulässig ist, und erzwingen Sie diese notfalls mit maßvollem Kraftaufwand, um die Ruder „loszubrechen“.
13. Der Landeanflug mit vereistem Luftfahrzeug sollte hoch und schnell erfolgen. Die Beendigung der Landung jenseits des Landebahndendes mit geringer Restgeschwindigkeit wird meistens glimpflicher verlaufen als ein Überziehen („Stall“).
Besonders bei einem vereistem Luftfahrzeug gilt:
Fahrt ist das halbe Leben!
14. Suchen Sie notfalls mit dem **noch** flugfähigen Luftfahrzeug rechtzeitig einen Notlandeplatz auf.

Luftfahrzeuge mit Vereisungsschutz

Für Flüge unter Wetterbedingungen, bei denen Vereisung zu erwarten ist, müssen alle Luftfahrzeuge mit Einrichtungen zur Verhütung oder zur Beobachtung und Beseitigung von Eisansatz ausgerüstet sein. So schreibt es die Betriebsordnung für Luftfahrgerät (LuftBO) vor. Entsprechend ausgerüstet sind praktisch alle Verkehrsflugzeuge (nach den Bauvorschriften FAR Part 25) und einige kleine Flugzeuge, die nach FAR Part 23 zugelassen sind. Dem heutigen Stand dieser Bauvorschriften entsprechend müssen, wenn eine Zulassung mit Vereisungsschutzeinrichtungen gewünscht wird, bei der Musterzulassung Versuche durchgeführt werden, um nachzuweisen, daß das Flugzeug unter den im Anhang C des FAR Part 25 beschriebenen Bedingungen für maximale Dauervereisung oder für maximale intermittierende Vereisung sicher betrieben werden kann. D.h., daß bei richtigem Gebrauch der Vereisungsschutzanlage in aller Regel ein Flug auch unter schweren Vereisungsbedingungen sicher überstanden werden kann. Dies gilt allerdings nicht für unbegrenzt lange Zeit; auch bei der Nachweisführung ist die Verweildauer in den definierten Vereisungsbedingungen auf höchstens 45 Minuten beschränkt. Überprüfen Sie daher vor Antritt des Fluges, ob die Aufenthaltsdauer in Gebieten mit Vereisungsbedingungen möglicherweise größer ist, als nach Flughandbuch zugelassen.

Die in den Flughandbüchern einiger Flugzeuge enthaltenen Einschränkungen hinsichtlich des Grades der Vereisung sind ebenfalls unbedingt zu beachten.

(Der Vereisungsgrad wird vom Deutschen Wetterdienst und in den Flughandbüchern in den Abstufungen leicht mäßig – stark – sehr stark bzw. trace – light – moderate – severe angegeben.)

Auf jeden Fall gilt:

1. Bewahren Sie den Respekt vor Vereisung und vermeiden 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 (siehe Bild 1).
2. Prüfen Sie, soweit möglich, bei der Vorflugkontrolle die Funktionstüchtigkeit Ihrer Vereisungsschutzanlage.
3. Achten Sie während des Fluges stets darauf, ob die Vereisung nicht stärker auftritt als erwartet.
4. Machen Sie sich mit den Betriebsanweisungen aller Elemente Ihrer Vereisungsschutzanlage gründlich vertraut, da diese durch fehlerhafte Bedienung völlig unwirksam sein oder gemacht werden können.

Einige Flugzeuge sind zwar nicht als Muster für den Betrieb unter Vereisungsbedingungen zugelassen, sie können aber mit einer Vereisungsschutzanlage oder mit Teilen einer solchen Anlage ausgerüstet sein. Hier bezieht sich die Nachweisführung bei der Musterzulassung nicht auf den Einbau einer Gesamtanlage, welche in der Lage wäre, das Flugzeug vor Vereisung zu schützen, sondern auf die Funktionsfähigkeit von Einzelanlagen (z. B. Enteisung der Tragfläche, der Propeller oder der Überziehwarnanlage).

Es ist unzulässig, mit dazu nicht zugelassenen Flugzeugen in Gebiete einzufiegen, 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 Ihr Flugzeug trotz aller Umsicht und trotz gewissenhafter Flugvorbereitung unerwartet vereist. Ein optimaler zusätzlicher Schutz ist gegeben, wenn folgende Komponenten, soweit sie durch ihre Bauweise oder ihren Einbauort vereisungsgefährdet sind, durch entsprechende Anlagen geschützt sind:

Tragflächen, Höhen- und Seitenflossen, Propeller und Rotoren, 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 werden kann.

Vereisung – ein Thema nur für den Winter?

Wenn im Herbst die Außentemperaturen langsam zurückgehen und die ersten Nachfröste 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 der Bundesrepublik Deutschland immer gegenwärtig.

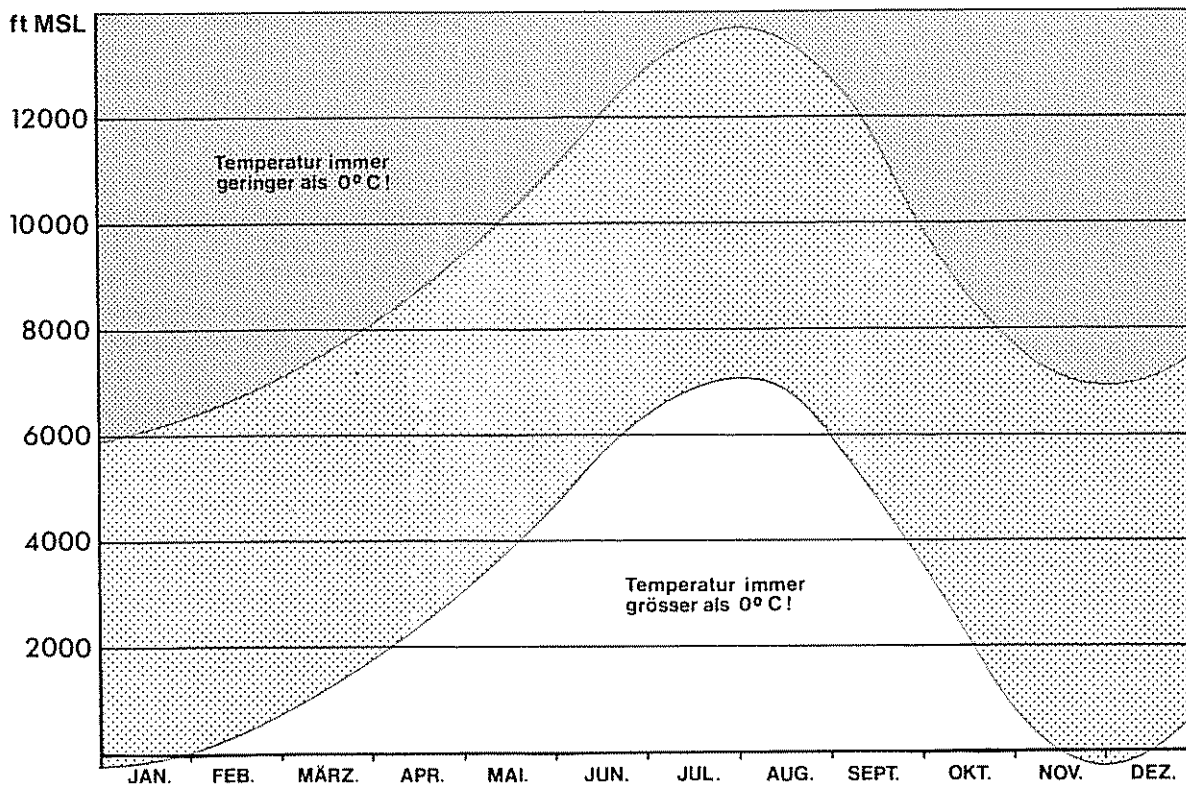


Bild 6: Bereich der 0°-Grenze über der Bundesrepublik Deutschland im Verlauf eines Jahres am Beispiel von 1974.

Im Bild 6 ist dargestellt, in welchem Höhenbereich die 0° C-Grenze vorzufinden ist. Die Kurven sind auf der Basis der mittleren Tagestemperaturen des Jahres 1974 errechnet. Deshalb ist der dargestellte Bereich auch nur beispielhaft; durch begrenztes örtliches Wettergeschehen kann die 0° C-Grenze auch erheblich tiefer liegen! Es ist deutlich zu erkennen, daß selbst im Hochsommer die 0° C-Grenze im Flugbetriebsbereich auch kleiner Luftfahrzeuge zu erwarten ist.

Deshalb ist Vereisung ein „Ganzjahresthema“!

Auch für Vereisungswetterlagen gilt:

„Vorsicht ist keine Feigheit“
und
„Im Zweifelsfalle nie!“

Im Winter sollten Sie auch unsere Flugsicherheitsmitteilung (fsm) 12/74 „Gefahren und Probleme des Winterflugbetriebes“ beachten.