

**Claus Cordes**

# **WINTERFLUGBETRIEB**



**aus dem Blickwinkel einer Besatzung**



## **1 Einleitung**

Der Winterflugbetrieb mit Verkehrsflugzeugen fordert alle daran Beteiligten und auch die Luftverkehrsnutzer. Abfertigungspersonal, Fluglotsen und Besatzungen müssen immensen Koordinationsaufwand bewältigen und viele Betriebsbeschränkungen und gesetzliche Vorgaben beachten. Passagiere und Frachtspediteure müssen sich u. U. mit Verspätungen und Flugausfällen arrangieren, Disponenten müssen laufend Flugplananpassungen vornehmen und Passagiere müssen häufig umgeleitet oder auf andere Flüge umbucht werden.

Der Vortrag schildert die Sichtweise der Besatzung anhand eines typischen, zeitlichen Ablaufes eines Fluges im Winterflugbetrieb. Konkrete Beispiele beziehen sich auf Daten für eine MD 11 – F.

## **2 Flugplanung**

Schon bei der Flugplanung wird die Besatzung mit den Problemen des Winterflugbetriebes konfrontiert. Steht bei Kurzstreckenflügen das Einhalten des veröffentlichten Flugplanes weit oben auf der Prioritätenliste, geht es bei Langstreckenflügen und insbesondere bei Langstre-

ckenfrachtflügen mit den üblichen hohen Nutzlasten häufig um die Frage, ob der Flug überhaupt sinnvoll durchführbar ist.

Die üblichen der Besatzung vom „flight operations officer“ vorbereiteten Flugplanungsunterlagen umfassen den Flugdurchführungsplan, den technischen Bordbericht, umfangreiche Wettermeldungen des Start-, Ziel- und der infrage kommenden Ausweichflughäfen, Wind- und Wetterkarten und die „NOTAMs“ (notices to airmen), in denen alle relevanten Flugsicherungs- und sonstigen Meldungen aufgelistet sind.

Aufgrund dieser Unterlagen trifft die Besatzung die Entscheidung über den mitzuführenden Kraftstoff und daraus häufig resultierend die Menge der mitführbaren Nutzlast. Häufig beginnt nun ein iterativer Anpassungsprozess, da sich die Spielräume häufig noch ändern, wenn wegen Nutzlastbeschränkungen die Frachtmenge neu angepasst werden muss.

Da diese Festlegungen etwa eine Stunde vor der geplanten Abflugzeit stattfinden, müssen sie bis zum Start immer wieder neu überprüft werden, da die äußeren Rahmenbedingungen sich schnell und gravierend ändern können.

Beschränkungen für die Nutzlast können aus mehreren Gründen notwendig werden:

- die Summe aller Massen übersteigt die unter den zu erwartenden Wetterbedingungen maximal zulässige Startmasse,
- es muss ein vom Zielflughafen weit entfernt liegender Ausweichflughafen gewählt werden, was eine hohe Reservekraftstoffmenge erfordert, wodurch die Landemasse am Zielflughafen überschritten werden könnte,
- durch starke Winde (im Winter insbesondere Polarfrontjet) steigt der benötigte Streckenkraftstoff stark an,
- am Zielflughafen ist marginales Wetter zu erwarten, was die benötigten Reservekraftstoffmengen erhöht.

Bei Langstreckenflügen ist dabei von besonderer Bedeutung, dass etwa 40 % des mitgeführten Reservekraftstoffes nur für dessen Mitnahme verbraucht werden.

Tabelle 1 zeigt die Grenzwerte für die Kontamination der Startbahn für verschiedene Beläge.

**Tabelle 1** Grenzwerte für die Kontamination der Startbahn

Grenzwert	Kontamination
15 mm	stehendes Wasser
18 mm	Schneematsch
20 mm	nasser Schnee
28 mm	trockener Schnee

Dabei sind die technischen Anforderungen an das Flugzeug :

- Schubumkehr auf allen Triebwerken verfügbar,
- alle Radbremsen betriebsbereit,
- anti-skid betriebsbereit,
- Störklappensystem betriebsbereit.

Der Bahnzustand wird meist mit speziellen Messwagen ermittelt, und analog der gemeldeten Bremswirkung sind reduzierte Seitenwindkomponenten zu beachten. Die MD 11 – F als Beispielflugzeug darf bei trockener Bahn bis zu einer maximalen Seitenwindkomponente von 35 Knoten gestartet oder gelandet werden, bei nasser oder kontaminierter Piste reduzieren sich diese Werte wie in Tabelle 2 gezeigt.

**Tabelle 2** Maximale Seitenwindkomponente abhängig von der gemeldeten Bremswirkung

gemeldete Bremswirkung	max. Seitenwindkomponente
good	25 kts
medium / good	20 kts
medium	15 kts
medium / poor	10 kts
poor	5 kts

Die Messergebnisse werden in einem sog. „SNOWTAM“ veröffentlicht.

### 3 Vorflugkontrolle

Beim Eintreffen der Besatzung am Flugzeug findet direkt eine erste Beurteilung des Flugzeuges auf die Notwendigkeit einer Enteisung statt. Insbesondere der Sicherungszustand bei rutschigem Vorfeld und gleichzeitig starkem Wind ist zu überprüfen.

Bei der sich etwas später anschließenden, eigentlichen Vorflugkontrolle sind folgende Punkte besonders zu inspizieren:

- die Tragflächenoberseite muss frei von allem Belag sein,
- die Tragflächenunterseite darf unter den Tanks mit einer 3 mm starken Eisschicht versehen sein,
- auf dem Rumpf darf dünner Frostbelag vorhanden sein, Schrift muss lesbar sein,
- loser Schnee oder Eisstücke könnten in Hecktriebwerke oder gegen das Leitwerk fliegen und müssen entfernt werden,
- die Radarnase muss frei von Schnee und Eis sein,
- vor den Cockpitscheiben darf sich kein loser Schnee befinden, der beim Start gegen die Scheiben wehen kann,
- die Fahrwerke müssen frei von Eis sein, damit sie einwandfrei einfahren können, insbesondere die Positionssensoren müssen anzeigen können,

- sämtliche Außensensoren wie Staurohre, Statikmesspunkte, Temperaturfühler und Anstellwinkelfahnen müssen frei und beweglich sein,
- an den Schaufeln der ersten Bläserstufe kann es zu Eisansatz kommen, der im Betrieb starke Vibrationen verursacht.

## 4 Enteisen am Boden

Für das Enteisen eines Flugzeuges gibt es mehrere Möglichkeiten. Große Mengen losen Schnees können mechanisch, also mit Seilen oder Besen entfernt werden. Dabei ist die Sicherung der Mitarbeiter, die z. B. auf den Tragflächen stehen von großer Wichtigkeit. Durch diese Methode wird teure Enteisungsflüssigkeit eingespart. Sensible Stellen wie Sensoren, aber auch die Fahrwerke und Triebwerkseinläufe dürfen nur mit Heißluft enteist werden. Dazu sind spezielle Warmluftgeräte oder Klimawagen zu benutzen, Luftstartwagen dürfen nicht eingesetzt werden. Tragflächen und Leitwerke werden im Normalfall chemisch enteist. Dafür stehen vier Flüssigkeitstypen zur Verfügung, die aber alle ähnlich zusammengesetzt sind. Hauptbestandteil ist Glykol, dazu kommen unterschiedliche Mengen Wasser, Flussmittel, Korrosionsschutzmittel und Verdicker. Die Flüssigkeiten werden vor dem Aufsprühen auf ca. 80°C aufgeheizt. Durch Einfärbung sind die Typen I – IV auch nach Auftragung zu unterscheiden.

**Typ I** ist rötlich eingefärbt, hat eine geringe Viskosität und wird hauptsächlich benutzt, um Raureif und dünnen Belag zu entfernen, wenn kein Niederschlag vorherrscht. Durch die geringe Viskosität wird Typ I schon bei geringen Windgeschwindigkeiten von der Fläche durch Scherung abgezogen.

**Typ II** ist hellgelb oder beige eingefärbt und zeichnet sich durch eine erheblich höhere Viskosität aus. Dieser Typ darf nur bei Flugzeugen verwendet werden, die eine Abhebegeschwindigkeit von mindestens 95 kts haben, damit die Scherkräfte der Anströmung ausreichen, die Flüssigkeit wie einen Film von der Fläche abzuziehen.

**Typ III** mit einer mittleren Viskosität und leuchtend gelb eingefärbt wird für langsamere Flugzeuge verwendet, die eine Abhebegeschwindigkeit von mindestens 68 kts haben.

**Typ IV**, grün eingefärbt, hat die höchste Viskosität, bietet deswegen den längsten Schutz vor Wiedervereisung und darf deswegen auch nur für Flugzeuge mit einer Abhebegeschwindigkeit von 95 kts verwendet werden.

Die chemische Enteisung kann in einem ein- oder zweistufigen Verfahren angewendet werden. Das einstufige Verfahren beseitigt den Belag und schützt das Flugzeug in einem Schritt und kann deswegen nur Anwendung finden, wenn kein starker Belag zu entfernen ist und / oder kein weiterer Niederschlag zu erwarten ist. Typisch ist der Fall dünnen Raureifes nach einer

klaren und kalten Nacht, wobei dann Typ I verwendet werden kann. Ist jedoch stärkerer Belag zu entfernen findet zuerst das sog. „deicing“ statt. In einem zweiten Schritt wird dann Typ II oder IV aufgetragen, wodurch der Schutz vor neuer Vereisung gebildet wird.

Durch Wind findet ein allmähliches Abtragen des Schutzfilmes statt, durch Niederschlag eine Verdünnung des Schutzfilmes. Daher sind je nach Mischungsverhältnis des Schutzfilmes, Windgeschwindigkeit und Stärke und Art des Niederschlages unterschiedliche Vorhaltezeiten zu beachten. Sind diese Vorhaltezeiten durch Verzögerungen vor dem Start überschritten worden, muss das Flugzeug zur Enteisungsposition zurückkehren und der Vorgang (deicing – antiicing) komplett wiederholt werden.

Je nach Flughafen und anderen Bedingungen werden Flugzeuge auf der Parkposition oder an den Startbahnköpfen enteist. Das Enteisen auf der Parkposition findet vor dem Anlassen der Triebwerke statt und spart damit erhebliche Mengen an Kraftstoff. Nachteilig ist die lange Rollzeit bis zur Startbahn und der hohe Koordinationsaufwand bei Enteisungsbetrieb und Flugsicherung. Werden die Flugzeuge erst nahe an der Startbahn enteist, geschieht das bei laufenden Triebwerken. Durch die Besatzung sind dann zusätzlich Systemschaltungen vorzunehmen, um das Einsaugen von Vereisungsflüssigkeit in die Klimaanlage zu verhindern, was in der Kabine unangenehme Gerüche verursachen kann. Vorteil ist jedoch die kurze Zeit bis zum Start, wodurch auch die Konzentration der Flüssigkeiten herabgesetzt werden kann.

Von den Flughäfen sind umfangreiche bauliche Maßnahmen vorzunehmen, die ein Auffangen der Enteisungsflüssigkeit ermöglichen. Die Flüssigkeiten sind biologisch abbaubar, dabei wird aber viel Sauerstoff verbraucht, weswegen die Einleitung in Gewässer problematisch ist.

Großflugzeuge werden von bis zu vier Spezialfahrzeugen gleichzeitig enteist, denn die Vorhaltezeit wird vom Beginn der Enteisung an gemessen. Der Kostenaufwand für eine Enteisung ist erheblich. Lufthansa Cargo bezahlt als MD 11 Betreiber für jeden Enteisungsvorgang durchschnittlich 2500 €.

## **5 Rollen zum Start, Start**

Beim Rollen zur Startbahn sind die Besonderheiten des Winterflugbetriebs von erheblichem Einfluss auf die Sicherheit. Zugeschneite Markierungen, Schneewehen, rutschige Rollbahnen, allgemeine Sichtbehinderungen erfordern langsames und umsichtiges Rollen. Der Abstand zu vorausrollenden Flugzeugen muss vergrößert werden, um das Wegblasen des Schutzfilmes durch Abgasstrahlen zu verhindern. Landeklappen können u. U. erst kurz vor Erreichen der Startbahn in Startstellung gebracht werden, um zu verhindern, dass Schnee oder Schneematsch in die Spalte gelangen, wodurch die Klappen nicht richtig eingefahren werden können. Dadurch werden die Arbeitsabläufe bei der Startvorbereitung erheblich gestört.

Beim Aufrollen auf die Piste ist die Vorhaltezeit erneut zu überprüfen. Ebenso wichtig ist eine Überprüfung der Startdaten daraufhin, dass die Wetterbedingungen so wie in der Berechnung zugrundegelegt noch existieren. Unter Bedingungen, die erneutes Fan – Blade – Icing wahrscheinlich sein lassen, müssen die Triebwerke bis zu 30 s mit mittlerer Drehzahl laufen, um Eispartikel, die den Wirkungsgrad herabsetzen und zu starken Unwuchten führen können, zu entfernen. Beim Setzen des Startschubes ist unbedingt darauf zu achten, dass alle Triebwerke gleichmäßig schnell Hochlaufen, um asymmetrischen Schub zu vermeiden, der auf rutschigem Untergrund speziell bei hinteren Schwerpunktlagen nur schwer ausgeglichen werden kann. Drehzahl, Abgastemperatur und Brennstoffdurchfluss zeigen zuverlässig an, ob die Triebwerke das unterstellte Schubniveau erreicht haben, oder ob eingefrorene Sensoren zu falschen Einstellungen führen.

Ein eventueller Startabbruch ist auf kontaminierten Pisten besonders problematisch. Generell ist das aus asymmetrischem Schub resultierende Drehmoment um die Hochachse schwer auszugleichen. Wegen der schlechten erreichbaren Verzögerungswerte muss die Entscheidungsgeschwindigkeit  $V_1$  relativ niedrig festgelegt werden. Im Abbruchfall ist die Benutzung der Schubumkehr eingerechnet. Auch hier können asymmetrischer Schub und Seitenwind die Richtungshaltung extrem erschweren. Im Fortsetzungsfall muss noch eine lange Strecke bis zum Erreichen der Abhebegeschwindigkeit mit  $n-1$  Triebwerken und entsprechend schlechter Beschleunigung zurückgelegt werden. Die Überflughöhe am Bahnende ist bei limitierender Bahnlänge auf 15 ft (4,5 m) festgelegt, so dass die Rotationsgeschwindigkeit  $VR$  und die Rotationsrate sehr genau eingehalten werden müssen, um ein Abheben vor dem Bahnende zu erreichen.

Die maximal zulässige Startmasse liegt bei kontaminierten Bahnen häufig unter der für trockene Bahn, da durch die notwendigerweise relativ niedrige  $V_1$  eine lange Beschleunigungsstrecke bei Ausfall eines Motors zurückzulegen ist. Um die Abhebegeschwindigkeit rechtzeitig zu erreichen, also die notwendige Beschleunigung zu erzielen, muss die Masse reduziert werden. Zusätzlich geht Schub durch die eingeschaltete Triebwerksenteisung verloren, da dazu Zapfluft aus dem Hochdruckverdichter entnommen werden muss.

## 6 Im Fluge

Im Fluge kommt es nicht nur im Winter, sondern generell ganzjährig zu Vereisung. Allerdings liegen die Temperaturen in bodennahen Wolkenschichten im Winterhalbjahr niedriger, weswegen es gerade in diesem Höhenband vermehrt zu Vereisung kommt. Es ist zwischen zwei Arten von Vereisung zu unterscheiden, Klareis und Rauheis.

Vereisung entsteht allgemein durch unterkühlte Wassertröpfchen, die durch Konvektion (vertikale Luftbewegung) in Bereiche kälter als Null Grad gelangen. Unter Laborbedingungen ist es gelungen, Wassertröpfchen auf  $-70^\circ\text{C}$  abzukühlen, ohne dass sie gefrieren. Dabei befinden

sie sich aber in einem metastabilen Zustand und erstarren sofort, wenn sie eine Erschütterung erfahren. Diese Erschütterung wird z. B. auch durch das Auftreffen auf eine Flugzeugstruktur bewirkt.

Klareis entsteht aus relativ großen Tröpfchen, wie sie bei der Konvektion in cumuliformen Wolken entstehen, in denen die Prozesse durch instabile Temperaturschichtungen mit recht hoher Dynamik ablaufen. Beim Aufprall und dem Gefrieren werden vergleichsweise große Mengen latenter Wärme frei, durch die der Tropfen für eine kurze Zeit noch fließfähig bleibt. Durch diese Fließfähigkeit werden Zwischenräume geschlossen, und so entsteht eine kompakte und durchsichtige (Klareis) Eisschicht, die eine hohe Gesamtmasse erreichen kann.

Rauheis entsteht aus kleinen Tröpfchen, wie sie in durch erzwungene Hebung hervorgerufener stratiformer Bewölkung anzutreffen ist. Durch die kleine Wassermasse kann beim Gefrieren nur eine kleine Menge latenter Wärme frei werden, so dass das Tröpfchen mehr oder weniger schnell gefriert, bevor es noch fließen kann. Es entstehen Zwischenräume, die der Eisschicht eine Rauigkeit verleihen.

Da die Häufigkeit unterkühlter Tropfen in Luftschichten mit einer Temperatur knapp unter dem Gefrierpunkt am größten ist, ist hier auch die meiste Vereisung zu erwarten. Mit abnehmender Temperatur nimmt die Anzahl der Tröpfchen ab und die der Eiskristalle zu, die nicht mehr am Flugzeug anhaften können. Bei Temperaturen unter  $-40^{\circ}\text{C}$  in ruhender Luft ist der Gebrauch der Enteisungsanlagen i.a. nicht mehr erforderlich.

Da Verkehrsflugzeuge in der Reiseflugphase wegen des Auftretens von Überschallströmungserscheinungen nach der Machzahltechnik geflogen werden (MD 11 bei M 0,82 bis M 0,83), die Schallgeschwindigkeit aber von der Lufttemperatur abhängt, sinken die Reisefluggeschwindigkeiten in kälterer Luft deutlich ab.

Geringe Temperaturen in Reiseflughöhe führen bei Langstreckenflügen zu einer Abkühlung des Treibstoffes insbesondere in den Flächentanks. Die Sorte Jet A1 erreicht bei  $-47^{\circ}\text{C}$  den Ausflockpunkt, die vorwiegend in Nordamerika verwendete Sorte Jet A schon bei  $-40^{\circ}\text{C}$ . Ein Ausflocken kann zum Verstopfen der Kraftstofffilter führen und ist deswegen zu vermeiden. Evtl. müssen dazu niedrigere Flughöhen aufgesucht werden, wobei die spez. Reichweite abnimmt.

Auch Luft zieht sich bei Kälte zusammen. Das führt dazu, dass Flüge in einer Druckhöhe (das ist das Prinzip der barometrischen Höhenmessung) in kalten Luftschichten in geringerer wahrer Höhe stattfinden. Dadurch steigen die sicheren Druckhöhen, die zum sicheren Überfliegen von Hindernissen wie Gebirgen eingehalten werden müssen. Besonders der Ausfall von Triebwerken im Reiseflug kann durch die Notwendigkeit, den Flug in deutlich niedrigerer Höhe fortsetzen zu müssen, zu operationellen Problemen führen.

## 7 Anflug

Insbesondere, wenn Bahnen von Schnee und Eis geräumt und dazu geschlossen werden müssen, kann es zu erheblichen und nicht vorhersehbaren Anflugverzögerungen kommen. Von der Besatzung ist dann sorgfältig abzuwägen, ob die Kraftstoffreserven an Bord ausreichen, um diese Wartezeiten überbrücken zu können, oder ob schnell auf einem Flug zum Ausweichflughafen entschieden werden sollte, was natürlich erhebliche Auswirkungen auf den Flugplan nach sich zieht.

Tiefe Wolkenuntergrenzen und schlechte Sichten erfordern oft einen Betrieb nach den Regeln für LVO (low visibility operations). Die Entscheidungshöhen liegen dann weit unter denen nach Cat I (200 ft), der Flugbetrieb bedingt dann aber größere Staffelungsabstände bei den Anflügen und geänderten Bodenbetrieb. Beides führt fast immer zu merklichen Störungen im Gesamtbetriebsablauf.

Bei kontaminierten Bahnen ist auf Basis der vom Flughafen zur Verfügung gestellten Informationen zu ermitteln, ob die verfügbare Landestrecke für Masse des Flugzeuges und Wetter (Wind) ausreicht. Entsprechende Grenzwerte und Zuschläge sind im jeweiligen Flughandbuch des Flugzeugmusters und Flugbetriebshandbuch des Unternehmens festgelegt. Bei der Landung selbst ist darauf zu achten,

- am Aufsetzpunkt deutlich aufzusetzen, damit keine Landestrecke verschenkt wird,
- das Bugrad schnell durch Derotation an den Boden zu bringen,
- darauf zu achten, dass die Störklappen sofort und vollständig ausfahren, um die größtmögliche Last auf die Räder zu bringen,
- die Schubumkehr mit symmetrischem Schub zu nutzen,
- schnellstmöglich eine sichere Rollgeschwindigkeit zu erreichen.

Beim Rollen zur Parkposition ist wie schon beim Rollen zum Start mit größter Vorsicht zu agieren. Ist anzunehmen, dass durch hochstiebenden Schnee oder spritzenden Schneematsch die Vorderkanten der Landeklappen kontaminiert wurden, dürfen die Klappen nicht eingefahren werden.

Beim Abstellen des Flugzeuges ist sicherzustellen, dass die Bremsklötze nicht am Boden verrutschen können.

### Anmerkung

Für Nachfragen, Anregungen und Kommentare steht der Autor unter seiner eMailadresse [cordes.claus@t-online.de](mailto:cordes.claus@t-online.de) gerne zur Verfügung.