

# Untersuchungsbericht

5X007-0/05  
November 2006

## Identifikation

Art des Ereignisses:	Schwere Störung
Datum:	12. März 2005
Ort:	Stuttgart
Luftfahrzeug:	Verkehrsflugzeug
Hersteller / Muster:	British Aerospace / BAe 146-300
Personenschaden:	ohne Verletzte
Sachschaden:	Luftfahrzeuge nicht beschädigt
Drittsschaden:	keiner
Informationsquelle:	Untersuchung der BFU

## Sachverhalt

### Ereignisse und Flugverlauf

Während eines Frachtfluges von Frankfurt nach Stuttgart geriet das Flugzeug im Steigflug von Flugfläche (FL) 80 auf FL100 bei eingeschaltetem Autopiloten in eine langsame Anstellwinkelschwingung mit zunehmender Amplitude. Die Nickbewegungen des Flugzeuges gingen bis zu einem positiven Anstellwinkel von 18 Grad und führten zu einer Sinkrate bis zu 4500 ft/min.

Bei abgeschaltetem Autopiloten brachte die Besatzung das Flugzeug in Instrumentenwetter(IMC)- und unter Vereisungsbedingungen mit Hilfe der manuellen Höhenrudertrimmung wieder unter Kontrolle. Ein längerer Aufenthalt in FL130 in Sichtwetterbedingungen (VMC) und außerhalb von Vereisungsbedingungen änderte an den Kontrollproblemen des Flugzeuges nichts.

Nachdem die Checklisten für abnormale Situationen und Notfälle keine Lösung für das bestehende Problem enthielten, entschied sich die Besatzung we-

gen besserer Wetterbedingungen zu einem Instrumentenlandeanflug in Stuttgart. Die Kontrolle der Höhe und das Aufsetzen des Flugzeuges erfolgten unter Benutzung der manuellen Höhenrudertrimmung.

### Angaben zum Luftfahrzeug

Das vierstrahlige Verkehrsflugzeug BAe 146-300 ist ein Hochdecker mit einem T-Leitwerk. Es hat eine Kapazität für maximal 130 Passagiere oder 10 727 kg Fracht.

Baujahr:	1990
maximale Abflugmasse:	44 225 kg
Gesamtflugstunden:	22 866 h
aktuelle Fracht:	6 274 kg
letzte Reinigung:	8. März 2005
letzte Enteisung:	12. März 2005 (zweimal) mit SAE Typ II, 50 : 50



### Feststellungen am Luftfahrzeug

Bei der Überprüfung des Flugzeuges unmittelbar nach der Landung wurden in den Spalten zwischen

der Flosse und dem Ruder des Höhenleitwerks sowie im Bereich der Quer- und Seitenruder stark aufgequollene und vereiste Rückstände von Enteisungsmittel gefunden.



Vereiste Rückstände zwischen Flosse und Ruder des Höhenleitwerks bei einer BAe 146

Das Höhenleitwerk sowie die Tragflächen des Flugzeuges wurden nach den Vorgaben des Flugzeugherstellers gereinigt. Bei den danach durchgeführten Flügen funktionierten sowohl die Steuerung als auch der Autopilot wieder einwandfrei. Aus den Unterlagen des Luftfahrtunternehmens ging hervor, dass das betroffene Flugzeug die meisten Enteisungen pro Reinigungsvorgang aufwies.

Versuche und Forschungsergebnisse

#### Entstehung der Rückstände

Bei den in Mitteleuropa für die Enteisung und den Vereisungsschutz eingesetzten Flüssigkeiten handelt es sich vorwiegend um so genannte verdickte Enteisungsflüssigkeiten SAE Typ II, Typ III oder Typ IV. Diese Flüssigkeiten enthalten im Gegensatz zu der in Europa wenig verbreiteten unverdickten Enteisungsflüssigkeit SAE Typ I einen geringen Anteil eines Polymers, das dazu dient, die viskoselastischen Eigenschaften der Enteisungsflüssigkeiten, den Anforderungen nach einem längeren Schutz vor Wiedervereisung anzupassen.

Solange das Flugzeug steht bzw. sich nur langsam bewegt, sorgt der Verdicker dafür, dass ausreichend Flüssigkeit auf dem Flugzeug haften bleibt, um dessen Wiedervereisung innerhalb einer bestimmten Zeit zu verhindern. In Abhängigkeit von der Anströmung werden beim Startvorgang die in der Flüssigkeit vorliegenden Aggregate des Polymerverdickers in der Form verändert. Dadurch nimmt die Viskosität der Enteisungsflüssigkeit während des Startlaufs ab und kann vollständig von der Flugzeugoberfläche abfließen.

Beim Aufbringen der Enteisungsflüssigkeit gelangt diese aber auch an Stellen des Flugzeuges, an denen die Anströmung nicht wirken kann. Während des Fluges trocknen die verbleibenden Reste der Enteisungsflüssigkeit bei niedriger Temperatur, niedrigem Luftdruck sowie geringer Luftfeuchtigkeit aus. Der Wasser- und Glykolanteil in der Flüssigkeit verdunsten (Dry-out) und zurück bleibt der Polymerverdicker als Rückstand (Residue).

Dieser Polymerrückstand ist sehr hygroskopisch, d.h. er kann aus der Luft ein Vielfaches seines Gewichtes an Wasser aufnehmen (Rehydration) und zu einer gelartigen Masse anwachsen. Abhängig von der Umgebungstemperatur gefriert dieses stark wasserhaltige Gel. Das dann vorliegende Eis kann eine Behinderung der Ruderbewegung bewirken.

#### Versuche

Um die verschiedenen verdickten Enteisungsflüssigkeiten hinsichtlich ihrer Bildung von Ablagerungen beim Austrocknen und deren Wiederaufnahme von Wasser vergleichen zu können, wurde vor einigen Jahren von der Firma SR Technics in der Schweiz ein Verfahren (Bühler-Test) entwickelt, das Eingang in die Normung gefunden hat.

Mit Hilfe dieses Tests sollten verdickte Enteisungsflüssigkeiten von verschiedenen Herstellern miteinander verglichen und der Einfluss festgestellt werden, den das Aufbringen dieser Produkte im Wechsel auf die Ausbildung der Rückstände und deren Wasseraufnahme hat.

Das Wehrwissenschaftliche Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe (WIWEB) der Bundeswehr in Erding wurde mit der Durchführung und Beurteilung solcher Versuche beauftragt. Mit der o.g. Schweizer Firma wurde eine telefonische und schriftliche Unterstützung für das WIWEB bei Fragen zur Durchführung der Versuche vereinbart.

Es wurden vier Hersteller von Enteisungsflüssigkeiten gebeten, sich mit ihren Produkten an den Tests zu beteiligen. Drei Hersteller haben ihre Produkte für die Versuche zur Verfügung gestellt; insgesamt neun verschiedene Enteisungsflüssigkeiten, fünf Typ-II- und vier Typ-IV-Flüssigkeiten.

Die Durchführung beim WIWEB erfolgte nach den Vorgaben des Entwurfs der Society of Automotive Engineers (SAE) AMS 1428E:

- Testdurchführung - Austrocknung mit Bildung von Ablagerungen (Dry-Out, Residue):

In jede Enteisungsflüssigkeit wurden für vier Sekunden je drei Testbleche getaucht. Dies erfolgte, um die Wiederholbarkeit der Resultate prüfen bzw. beweisen zu können. Nachdem die Testbleche 30 Minuten abgetropft waren, wur-

den sie gewogen und 24 Stunden in einem Klimaschrank mit Ventilator getrocknet.

Die Trocknung der Testbleche, die in unverdünnte Enteisungsflüssigkeiten getaucht wurden, erfolgte bei +30 °C und 40% relativer Luftfeuchte. Für die Trocknung der Testbleche aus den 50 : 50 verdünnten Enteisungsflüssigkeiten musste die Temperatur auf +35 °C erhöht werden, um eine vollständige Trocknung zu erreichen.

Nach 24 Stunden wurden die Testbleche dem Klimaschrank entnommen, 30 Minuten abgekühlt, dann auf 0,1 Milligramm genau gewogen und das Gewicht dokumentiert. Dieser Vorgang wurde fünfmal wiederholt, so dass alle Bleche insgesamt sechsmal in Enteisungsflüssigkeit getaucht worden waren.

- Testdurchführung - Wasseraufnahme des Rückstands (Rehydration):

Nach der abgeschlossenen Wägung des Rückstands wurde jedes Testblech  $30 \pm 1$  Sekunde in voll entsalztes Wasser getaucht. Nach  $60 \pm 2$  Sekunden Abtropfzeit wurde es gewogen und der Wert dokumentiert. Diese Prozedur wurde mit jedem Testblech insgesamt zehnmal durchgeführt.

Neben der Untersuchung der Einzelprodukte (unverdünnt und in 50 : 50 – Verdünnung) wurden auch die möglichen Effekte einer sukzessiven Applikation verschiedener Produkte getestet. Um die Einflüsse der jeweiligen Produkte besser feststellen zu können, wurden immer zwei Drittel der Eintauchungen mit einem Produkt und ein Drittel der Eintauchungen mit einem oder zwei anderen Produkten durchgeführt.

### Testergebnisse

Die vollständigen Testergebnisse sind in Anhang 1 zum Bericht Nr. 05/56335/00001-000 des WIWEB enthalten. Wegen des Datenschutzes wurden in diesem Untersuchungsbericht die Namen der Hersteller (A, B, C) und der Produkte (1-9) anonymisiert.

Die errechneten Mittelwerte der Rückstände (Residue) und der Gelmasse (Wasseraufnahme) wurden aus den protokollierten Testergebnissen in den folgenden Tabellen zusammengestellt und zur Veranschaulichung in den Anlagen 1 – 4 auch grafisch dargestellt.

## 1. Unverdünnte Produkte und deren vermischte Anwendung

Produkt (100 : 0)	Residue (mg) 1. – 6. Wert	Gelmasse (mg) 1. – 10. Wert	Gütefaktor <sup>1</sup>
A1 (II)	2,0 – 5,4	1632 – 1401	302
B3 (II)	1,2 – 3,9	2286 – 1970	586
C7 (II)	2,3 – 6,0	1505 – 1841	251
B8 (II)	2,9 – 10,6	3334 – 2249	315
A5 (II)	2,0 – 9,4	2833 – 1823	301
B4 (IV)	1,5 – 4,7	2271 – 1286	483
C2 (IV)	2,2 – 5,2	1382 – 1766	266
C6 (IV)	2,5 – 4,4	900 – 1526	205
A9 (IV)	3,3 – 11,6	1364 – 707	118

<sup>1</sup> Den Testergebnissen wurde von der BFU in Absprache mit der WIWEB ein als Gütefaktor bezeichneter Rechenwert hinzugefügt. Der Faktor bringt das Wasseraufnahmevermögen des Produkts pro mg Residue zum Ausdruck und wurde aus dem Verhältnis der ersten Messung der Gelmasse (Wasseraufnahme) und der letzten Wägung des Residue gebildet.

Produkt-Mix (100 : 0)	Residue (mg) 1. – 6. Wert	Gelmasse (mg) 1. – 10. Wert	Gütefaktor <sup>1</sup>
B3 (II) / A1 (II)	1,1 – 5,5	2356 – 1726	428
C7 (II) / B8 (II)	2,0 – 6,0	1564 – 1940	261
A9 (IV) / B4 (IV)	3,6 – 9,3	2577 – 1593	277
B4 (IV) / A9 (IV)	1,4 – 5,1	1662 – 1420	326
A5 (II) / C7 / B8	3,1 – 7,9	3492 – 1079	442
B4 (IV) / A1 / C7	2,3 – 4,4	1331 – 1292	303
B3 (IV) / A1 / C7	1,0 – 3,5	1608 – 1495	459
C6 (IV) / C2 / A9	1,3 – 4,1	1260 – 1314	307

## 2. 50 : 50 verdünnte Produkte und deren vermischte Anwendung

Produkt (50 : 50)	Residue (mg) 1. – 6. Wert	Gelmasse (mg) 1. – 10. Wert	Gütefaktor <sup>1</sup>
A1 (II)	13,8 <sup>2</sup> – 3,8	1135 - 947	299
B3 (II)	1,4 – 4,4	2461 - 2620	559
C7 (II)	1,6 – 5,7	1442 - 1875	253
B8 (II)	13,1 <sup>2</sup> – 20,7	4352 - 2702	210
A5 (II)	4,8 – 13,9	2662 – 1914	192
B4 (IV)	1,9 – 5,1	2054 - 1387	403
C6 (IV)	2,1 – 3,9	888 - 1302	228
A9 (IV)	3,8 – 7,9	1058 - 735	134

<sup>2</sup> Die Daten der ersten Messung waren nicht verwertbar, da die Testbleche offensichtlich noch nicht vollständig trocken waren.

Produkt-Mix (50 : 50)	Residue (mg) 1. – 6. Wert	Gelmasse (mg) 1. – 10. Wert	Gütefaktor <sup>1</sup>
B8(II) / C7 / A1	2,5 – 7,8	2031 - 1988	260
C7(II) / B8 / B3	1,9 – 5,1	1423 - 2205	279
A9(IV) / C6 / C2	2,8 – 7,0	1190 - 1425	170
C2(IV) / A5 / B4	1,3 – 5,7	1425 - 1892	250

## Bewertung der Testergebnisse

Aus den Versuchsergebnissen hat das WIWEB folgende Schlüsse gezogen:

1. *Die Masse der trockenen Rückstände ist unabhängig vom Typ (II oder IV) der Enteisungsflüssigkeit.* – Beispiele A1 und C2
2. *Die Masse der Ablagerungen ist unabhängig von der Viskosität der Enteisungsflüssigkeit und damit auch von der Flüssigkeitsmenge, die sich noch 30 Minuten nach dem Tauchen auf dem Testblech befindet.* – Beispiele A5 und C6 sowie B3 und B4

Bei C6 wurden im Durchschnitt 4,4 mg Ablagerungen festgestellt, bei A5 dagegen 9,4 mg, obwohl C6 verglichen mit A5 eine mehr als doppelt so hohe Viskosität hat. Die Produkte B3 und B4 wiesen beide nur einen geringen Unterschied in der Masse der Ablagerungen auf (3,9 mg gegenüber 4,7 mg), wobei die Viskosität von B4 fast um den Faktor drei größer ist als die von B3.

3. *Die Masse der trockenen Rückstände ist nicht proportional der Masse an Wasser, die der Rückstand aufnehmen kann, d.h. viel Rückstand bedeutet nicht zwangsläufig auch eine große Aufnahme von Wasser. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Wasseraufnahmevermögen in deutlich stärkerem Maße von der chemischen Struktur des jeweiligen Polymerverdickers abhängt.* – Beispiele A9 und B8
4. *Bei der sukzessiven Anwendung verschiedener Produkte (Mix) konnten drei unterschiedliche Beobachtungen gemacht werden:*
  - *Die Anwendung unterschiedlicher Produkte hatte keinen Einfluss hinsichtlich der Bildung von Rückständen und deren Wasseraufnahme* – Beispiele C7 und B8.
  - *Folgt auf die Anwendung von Produkten, die einen hohen Rückstand haben, der aber eine niedrige Wasseraufnahme aufweist, die Anwendung von Produkten mit niedrigem Rückstand aber höherem Wasseraufnahmevermögen, so kann ein geringerer Rückstand resultieren, der jedoch mehr Wasser aufnimmt.* – Beispiele A9 und B4
  - *Werden Produkte mit hoher Rückstandsbildung und Wasseraufnahme im Wechsel mit Produkten mit niedriger Rückstandsbildung und Wasseraufnahme aufgebracht, so ist eine Reduzierung der Rückstandsmenge und eine Verminderung des resultierenden Wasseraufnahmevermögens möglich.* –

*Beispiele B8 (50 : 50) und B8 / C7 / A1 (50 : 50)*

*Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Auswirkungen bei einem Wechsel unterschiedlicher Produkte in geringem Ausmaß möglich sind. Dabei ist die Tendenz festzustellen, dass bei häufigerer Anwendung eines Produktes mit einer geringen Rückstandsbildung und geringem Wasseraufnahmevermögen und gelegentlicher Anwendung von Produkten mit höherer Rückstandsbildung und höherem Wasseraufnahmevermögen mit etwas mehr Ablagerungen und Wasseraufnahme gerechnet werden muss, als wenn ausschließlich das Ausgangsprodukt angewendet wird. Bei umgekehrter Reihenfolge in der Anwendung der Produkte ist zu beobachten, dass in diesem Falle die Ablagerungen etwas abnehmen bzw. die Wasseraufnahme verringert ist.*

5. *Bei Anwendung der mit Wasser 50 : 50 verdünnten Enteisungsflüssigkeiten liegen die Werte für die Masse der Rückstände unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit des Verfahrens jeweils in der gleichen Größenordnung wie bei der Anwendung der unverdünnten Produkte. Demzufolge ergeben sich auch für die Wasseraufnahme der Rückstände vergleichbare Werte wie bei der Anwendung der unverdünnten Produkte.*
6. *Bei der Anwendung der mit Wasser 50 : 50 verdünnten Enteisungsflüssigkeiten fällt auf, dass auf den Testblechen nach 30 Minuten Abtropfzeit selbst bei Produkten mit niedriger Viskosität eine deutlich größere Masse an Enteisungsmittel anhaftet, als dies bei den entsprechenden unverdünnten Produkten der Fall war.*
7. *Die Bildung der Rückstände ist auf die Reaktion der Metalloberfläche mit dem in den Enteisungsflüssigkeiten enthaltenen Polymerverdickern zurückzuführen. Die Annahme, dass die Masse der Rückstände von der Menge der polaren Anteile und damit den aktiven Zentren des Polymers abhängt, ist durch die unter den Punkten 1 bis 6 aufgeführten Versuchsergebnisse begründet. Daher ist die Masse der Rückstände auch unabhängig davon, wie viel Enteisungsflüssigkeit mit welcher Viskosität und welcher Verdünnung auf das Testblech appliziert wurde.*

Organisationen und deren Verfahren

### Luftfahrtunternehmen

Nur wenige Luftfahrtunternehmen führen die Enteisung und den Vereisungsschutz ihrer Flugzeuge noch selbst durch. Luftfahrtunternehmen, die die Enteisung nicht selbst durchführen, beauftragen damit die auf den Flughäfen für das Enteisen zuständigen Stellen (Enteiser).

Vertraglich sind mit diesen Stellen die Enteisung nach der neuesten Fassung der genehmigten Norm sowie Festlegungen zur Qualitätssicherung vereinbart. Da die Enteiser als Vertragspartner der Luftfahrtunternehmen keiner luftrechtlichen Regulierung unterliegen, haben die Luftfahrtunternehmen die Verpflichtung, die Vertragsfirmen hinsichtlich der Einhaltung der Vertragsvereinbarungen zu überprüfen.

Da die Verpflichtung zur vertraglichen Vereinbarung mit den Enteisern und deren Überprüfung für alle Luftfahrtunternehmen gilt, haben sich die in der Association of European Airlines (AEA) organisierten Fluggesellschaften und weitere assoziierte Fluggesellschaften zu einer Gruppe zusammengeschlossen. Vertreter dieser Gruppe sind federführend bei der Vertragsgestaltung und bei den Überprüfungen.

So führt die Überprüfungsorganisation (DAQCP - De-icing/Anti-icing Quality Control Pool) für ihre Mitglieder bei den Enteisern mehrmals jährlich Qualitätskontrollen durch. Im Rahmen der Vertragsvereinbarungen mit den einzelnen Enteisungsstationen war eine Bereitstellung von unverdickten Enteisungsflüssigkeiten (Typ I) an allen Stationen, die von den Mitgliedsunternehmen angefliegen wurden, aufgrund marktwirtschaftlicher Überlegungen nicht erreichbar.

Nach Auskunft des betroffenen Luftfahrtunternehmens wurde meistens in einem Schritt für das Enteisen und den Vereisungsschutz eine verdickte Flüssigkeit (Typ II oder Typ IV), oft verdünnt mit Wasser, verwendet. Wann immer möglich und vorgehalten, wurde eine Enteisung in zwei Schritten mit Wasser oder Typ-I-Flüssigkeit im ersten Schritt sowie einer Flüssigkeit vom Typ II oder Typ IV im zweiten Schritt bevorzugt.

Um die Rückstandsbildung zu minimieren, hat das Luftfahrtunternehmen bereits seit Ende der 80er Jahre die Anwendung von „Vorenteisung“ bzw. „Über-Nacht-Vereisungsschutz“ (Aufbringen verdickter Typ II / IV-Flüssigkeit auf die sauberen Flächen mit langem Wiedergefrierschutz zur Vermeidung morgendlicher Verspätungen durch Enteisungsverfahren) intern untersagt.

Die Inspektionen auf Rückstände erfolgten in Zeiten täglicher Enteisung ebenso häufig. Dabei wurden in

den vergangenen Jahren nur minimale Rückstände gefunden. Eine Reinigung des Flugzeuges wurde aufgrund dieser Erfahrungen vor dem Zwischenfall planmäßig alle 14 Tage vorgenommen. In dem Maße wie die Enteisung unterbleiben konnte, wurde auch der Inspektions- und Reinigungsaufwand reduziert.

### Flughäfen / Enteiser

Als Regionalfluglinie fliegt das Luftfahrtunternehmen im Inland und in Europa sowohl große als auch kleinere Flughäfen an. Aus einer Stationsübersicht der im Pool organisierten Regionalfluglinien war zu entnehmen, dass von den insgesamt 86 angeflogenen und überprüften Regionalstationen nur drei Stationen Typ I, 25 Stationen Typ I und Typ II oder Typ IV und 58 Stationen Typ II oder Typ IV anbieten. Auf den 25 Flughäfen, die zusätzlich zu einer Typ-II- oder Typ-IV- auch eine Typ-I-Flüssigkeit anbieten, geschieht dies meistens aus Gründen des Umweltschutzes.

Auf kleineren Flughäfen erfolgt die Enteisung unmittelbar vor dem Start, während auf Großflughäfen wie Frankfurt es aus organisatorischen Gründen sowie aufgrund der Platzverhältnisse nicht möglich ist, alle Flugzeuge unmittelbar vor dem Start zu enteisen. Die Enteisungsplanung auf diesen Flughäfen sieht daher überwiegend vor, dass die Enteisung in der Park- oder Abstellposition gleich mit verdickten Flüssigkeiten erfolgt.

Die Flughäfen überarbeiten alljährlich auf Basis der neu veröffentlichten Empfehlungen der Association of European Airlines (AEA) ihre Arbeitsabläufe und Regeln, nach denen in der bevorstehenden Saison die Flugzeugenteisung erfolgen soll. Ziel dieser Planung ist es, den Auftrag für eine Enteisung zügig bei geringem Enteisungsmittelverbrauch im Sinne größtmöglicher Flugsicherheit und eines konsequenten Umweltschutzes durchzuführen. An dieser Planung wirken häufig auch die Enteiser sowie Vertreter der Luftfahrtunternehmen und der Flugsicherung mit.

Die Enteisungsverfahren der Flughäfen basieren auf den weltweit anerkannten Standards für Enteisungsmethoden der Society of Automotive Engineers (SAE) sowie auf den Vorgaben der AEA, in denen auch die Empfehlungen und Vorgaben der Flugzeughersteller berücksichtigt sind.

### Rechtliche Vorgaben zur Flugzeugenteisung

JAR-OPS 1.345 „Eis und andere Ablagerungen“ besagt:

- (a) *Der Luftfahrtunternehmer hat Verfahren für den Vereisungsschutz und das Enteisen des Flugzeuges am Boden und für die damit verbundenen Kontrollen festzulegen.*
- (b) *Der Kommandant darf den Start nur beginnen, wenn die Außenflächen des Flugzeuges frei sind von jeglichen Ablagerungen, die die Flugleistung und/oder die Steuerbarkeit des Flugzeuges ungünstig beeinflussen könnten, außer wenn dies nach den Angaben im Flughandbuch zulässig ist.*
- (c) *Der Kommandant darf einen Flug unter bekannten oder zu erwartenden Vereisungsbedingungen nur antreten, wenn das Flugzeug für diese Bedingungen zugelassen und ausgerüstet ist.*

Kommentare zu JAR-OPS 1.345 führen aus:

- Flüssigkeiten für den Vereisungsschutz und zum Enteisen sollen für das Luftfahrtunternehmen und für den Flugzeughersteller akzeptabel sein. Diese Flüssigkeiten stimmen üblicherweise mit Spezifikationen wie SAE AMS 1424, 1428 oder deren Äquivalent (ISO) überein. Die Verwendung von Flüssigkeiten, die damit nicht übereinstimmen, wird nicht empfohlen, da ihre Eigenschaften nicht bekannt sind.
- Das Luftfahrtunternehmen sollte die möglichen Nebenwirkungen beim Einsatz von Flüssigkeiten gebührend in Betracht ziehen. Solche Wirkungen können u.a. sein: getrocknete und/oder rehydrierte Rückstände, Korrosion und das Entfernen von Schmierstoffen.
- Das Luftfahrtunternehmen sollte Verfahren etablieren, um getrocknete Rückstände zu verhindern, zu entdecken und zu entfernen. Falls notwendig sollte das Luftfahrtunternehmen geeignete Inspektionsintervalle etablieren, die auf Empfehlungen der Flugzeughersteller und/oder eigener Erfahrung beruhen.
- Den Luftfahrtunternehmen wird dringend empfohlen, Informationen über die Austrocknungs- und Rehydratationseigenschaften der Flüssigkeiten vom Flüssigkeitshersteller anzufordern und Produkte auszuwählen, die optimale Eigenschaften besitzen.

Für die Verwendung von Treibstoffen, Ölen, Fetten und anderen Substanzen in der Luftfahrt bestehen im Allgemeinen Spezifikationen, die mit den Luftfahrtbehörden abgestimmt sind. Es ist üblich, solche Produkte für die Verwendung in der Luftfahrt frei-

zugeben, wenn der Hersteller ihre Wirksamkeit nachgewiesen hat und sie keine kurz- oder langfristigen Risiken für die Flugsicherheit darstellen.

### Flugzeughersteller

Der Hersteller der BAe 146 hat mit zahlreichen Hinweisen und technischen Mitteilungen auf die Probleme bei der Verwendung verdickter Enteisierungsmittel und auf die Bedeutung der Inspektionen im Hinblick auf Enteisierungsmittelrückstände und deren Entfernung aufmerksam gemacht. Die Unterlagen enthalten umfangreiche Anweisungen, an welchen Stellen des Flugzeugmusters solche Rückstände zu erwarten sind und wie sie entfernt werden können.

Konkrete Handlungsanweisungen, dass die BAe nur mit Typ-1-Flüssigkeit bzw. bei Anwendung verdickter Flüssigkeiten nur in Verbindung mit Typ I und heißem Wasser enteist werden darf, werden nicht gegeben. Die Anwendung der Inspektions- und Reinigungsprogramme wird der Erfahrung der Luftfahrtunternehmen überlassen.

### Zusätzliche Informationen

Während der Untersuchung zur Flugzeugenteisung gingen bei der BFU weitere Störungsmeldungen ein:

- **25. März 2005:**  
Auf einem Linienflug von Zürich nach Prag bemerkten die Piloten einer AVRO RJ 100 im Steigflug auf Reiseflughöhe, dass das Höhenruder nur mit erhöhtem Kraftaufwand bewegt werden konnte. In FL230 informierte die Besatzung die Flugsicherung und bat um einen Sinkflug für eine Sicherheitslandung in München. Im Anflug auf München verbesserte sich die Beweglichkeit des Höhenruders. Ab FL100 war das Flugzeug wieder steuerbar. Es erfolgte ein normaler Anflug und eine sichere Landung.
- **30. März 2005:**  
Während eines Linienfluges von München nach Birmingham traten bei einer AVRO RJ 85 im Steigflug langsame Anstellwinkelschwingungen auf. Als sich das Verhalten des Flugzeuges während des Reisefluges nicht änderte, schaltete die Besatzung den Autopiloten ab. Der steuernde Pilot stellte ungewöhnlich große Kräfte für die Höhen- und Rollsteuerung fest. Die Besatzung entschied sich zu einer Sicherheitslandung in Frankfurt. Im Sinkflug verbesserte sich die Steuerbarkeit des Flugzeuges wieder. Anflug und Landung waren normal.

- **Im März 2006:**  
Die Besatzung einer italienischen Embraer 145 erklärte im Reiseflug wegen einer blockierten Höhensteuerung eine Luftnotlage und entschied sich zu einer Sicherheitslandung in München. Während des Anfluges verbesserte sich die Steuerbarkeit des Flugzeuges. Die Landung war normal möglich. Nach dem Entfernen von Enteismittelrückständen im Bereich des Höhenleitwerks setzte das Flugzeug seinen Flug zum Zielort fort.
- **26. März 2006:**  
Auf einem Linienflug von Dortmund nach München wurde bei einer DHC-8-300 im Reiseflug in FL190 eine Fehlstellung der Höhenrudertrimmung angezeigt. Nach Abschalten des Autopiloten stellte die Besatzung fest, dass die Steuersäule und das Höhenrudertrimm-Handrad blockiert waren. Das dafür vorgesehene Verfahren der Notfall-Checkliste brachte keine Abhilfe.  
  
Mit Hilfe eines weiteren Trimmsystems (STBY-Elevator-Trim) war es möglich, die Einstellung der Höhenrudertrimmung zu verändern. Zusammen mit Leistungsänderungen konnte ein kontrollierter Sinkflug durchgeführt werden. Aufgrund der eingeschränkten Steuerbarkeit erklärte die Besatzung eine Notlage und entschied sich zu einer Sicherheitslandung in Frankfurt. Während des Anfluges verbesserte sich die Steuerbarkeit kontinuierlich. Die Landung war normal durchführbar.
- **28. März 2006:**  
Auf einem Linienflug von Basel nach Düsseldorf bemerkte der Pilot einer ATR 72-200 im Steigflug eine Schwergängigkeit in der Betätigung der Querruder. Im Landeanflug wurde nach mehreren Richtungswechseln bei eingeschaltetem Autopiloten eine Fehlstellung der Querrudertrimmung angezeigt. Bei der Kontrolle aller Flugzeuge des Unternehmens wurden an drei weiteren Flugzeugen erhebliche Mengen rehydrierter Enteismittelrückstände gefunden.
- **30. März 2006:**  
Während des Steigfluges zu einem Linienflug von Düsseldorf nach Zürich bemerkte die Besatzung einer BAe 146-300 ungewöhnliche Anstellwinkeländerungen. Als das Flugzeug nach Erreichen der Reiseflughöhe die vorgegebene Flughöhe nicht einhielt, schaltete der Pilot den Autopiloten ab. Dadurch bemerkte er, dass die Betätigung des Höhenruders blockiert war. Das Flugzeug konnte in der Höhe nur noch über die Trimmung gesteuert werden. Bei Erreichen von FL80 stellte die Besatzung wieder die volle

Steuerbarkeit des Flugzeuges fest. Es erfolgte eine normale Landung in Zürich.

#### BAe 146-Forum in Prestwick

In Mai 2005 veranstaltete der Hersteller der BAe 146 ein Forum zum Thema Enteismittelrückstände für Betreiber dieser Flugzeuge. An diesem Treffen nahmen neben der britischen Luftfahrtbehörde (CAA) und der britischen Flugunfalluntersuchung (AAIB) auch Vertreter der Enteismittelhersteller, der European Regions Airline Association (ERA) und neun Regionalfluglinien teil.

Bei dem Treffen berichtete der Hersteller von 40 gemeldeten Störungen im Jahr 2004 im Zusammenhang mit Flugzeugenteisungen. Im Jahr 2005 waren es 88 Störungen. Alle Störungen ereigneten sich in Europa. Nicht alle Betreiber waren von Störungen betroffen.

Bei der Aussprache über die gemeldeten Ereignisse zeigten sich große Unterschiede im Gebrauch der Enteismittelflüssigkeiten und in der Anwendung von Inspektions- und Reinigungsprogrammen. Die Betreiber, die häufiger oder nach einer bestimmten Anzahl von Enteisungen auf Rückstände kontrolliert und Reinigungen durchgeführt hatten, waren seltener von Störungen betroffen.

Nach Auskunft der Enteismittelhersteller stieg Ende Februar / Anfang März 2005 der Bedarf an Enteismittelflüssigkeiten Typ II / Typ IV auf den Flughäfen in Europa aufgrund der anhaltenden starken Enteisungsperiode sprunghaft an. Es wurde an einigen Flughäfen in diesem Zeitraum die sonst übliche Jahresmenge an Enteismittelflüssigkeiten verkauft. Diese Information deckte sich mit einer Wetterauswertung des Flugzeugherstellers, wonach sich das Wetter im Jahr 2005 deutlich anders (viele Tage unter / um den Gefrierpunkt mit gefrierenden / gefrorenen Niederschlägen) dargestellt hatte, als das Wetter der letzten Jahre.

## Beurteilung

### Eigenschaften verdickter Enteismittelflüssigkeiten

Beim Vergleich der unverdünnten Produkte ist zunächst ersichtlich, dass grundsätzlich mit jedem Enteisungsvorgang die Masse der getrockneten Rückstände zunimmt. Weiterhin zeigen die Versuchsergebnisse recht deutlich, dass Typ-IV-Flüssigkeiten nicht grundsätzlich mehr trockene Rückstände bilden als Typ-II-Flüssigkeiten. Unter Berücksichtigung der Wasseraufnahme kann sich die Reihenfolge der Bewertung völlig umkehren, wie die Typ-IV-Flüssigkeit A9 zeigt.



Der Gütefaktor ist auch nur dann ein Bewertungsfaktor für das Produkt, wenn die Fähigkeit zur Wasseraufnahme die Grundlage der Bewertung sein soll. Hier würde das Produkt A9 am besten abschneiden. Da die Kontrollprobleme durch das Gefrieren der Gelmasse entstehen, ist es auch legitim, das Produkt mit der geringsten Gelmasse, hier C6, zu bevorzugen. Bemerkenswert ist jedoch, dass bei beiden Bewertungskriterien eine Typ-IV-Flüssigkeit vorne liegt. Lediglich bei Zugrundelegung der „trockenen Rückstände“ als Auswahlkriterium würde die Typ-II-Flüssigkeit B3 den ersten Platz einnehmen.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass die Verdünnung der Produkte keine Reduzierung der trockenen Rückstandsmasse ergibt, sondern eher das Gegenteil der Fall ist, wie bei Produkt B8. Die aufgezeigten Verhältnisse bei den unverdünnten Produkten sowie bei deren verdünnter und vermischter Anwendung ergeben eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten, die ein Grund dafür sein können, dass mit den praktizierten Verfahren des Luftfahrtunternehmens vorhandene Enteisungsmittelrückstände nicht rechtzeitig erkannt und entfernt wurden.

Da bei den Inspektionen die Gefahr besteht, dass die trockenen Enteisungsmittelrückstände aufgrund enger Spaltmaße zwischen Flosse und Ruder oder aufgrund ihres Aussehens und falscher Kontrolle nicht erkannt werden, ist es notwendig, dass sich an die Anwendung einer verdickten Enteisungsflüssigkeit, unabhängig ob Typ II oder Typ IV, zwingend eine Reinigungsmaßnahme anschließt. Wie oft eine verdickte Enteisungsflüssigkeit angewendet werden kann, bis gereinigt werden muss, darf nicht von den Luftfahrtunternehmen entschieden, sondern muss vom Flugzeughersteller festgelegt werden.

Von einem Produkt, das die in der Luftfahrt vorgesehenen Verfahren zur Zulassung als Enteisungsmittel durchlaufen hat, werden keine Risiken mehr für den Betrieb eines Flugzeuges erwartet. Dieses Vertrauen war bisher durch eine weltweit übliche Vorgehensweise sowie durch Spezifizierung und Normung gerechtfertigt. Für die verdickten Enteisungsflüssigkeiten ist nach den Zwischenfällen das notwendige Vertrauensniveau nicht mehr gegeben. Obwohl für alle getesteten Enteisungsflüssigkeiten nachgewiesen wurde, dass sie die mit den Luftfahrtbehörden abgestimmte Spezifikation SAE AMS 1428 erfüllen, zeigten sich im Test doch noch erhebliche Unterschiede in den Eigenschaften zwischen Produkten gleichen Typs verschiedener aber auch gleicher Hersteller. Das führt zwingend zu der Schlussfolgerung, dass offenbar in den Spezifikationen bzw. der Normung die Eigenschaften

der Flüssigkeiten noch nicht ausreichend genau beschrieben sind.

Damit die Benutzung von Enteisungsflüssigkeiten für die Flugzeugbetreiber nicht ein schwer einzuschätzendes und zu bewertendes Risiko bleibt, müssen in die Spezifikationen weitere Qualitätsmerkmale, z. B. Prüfverfahren und Grenzwerte für die Bildung von Ablagerungen beim Austrocknen und der Wiederaufnahme von Wasser, aufgenommen werden. Nur mit solchen differenzierteren Vorgaben durch die Normung, die von allen Flüssigkeitsherstellern einzuhalten und zu garantieren wären, können dann von den Flugzeugherstellern auch verlässliche Intervalle für die Instandhaltung entwickelt bzw. erwartet werden.

Auch wenn die Normung die Eigenschaften der Enteisungsflüssigkeiten besser beschreiben würde, wäre damit nicht beseitigt, dass verdickte Enteisungsflüssigkeiten hygroskopische Rückstände bilden und nicht nur Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerungen damit Schwierigkeiten haben können. Den Flughafenbetreibern und Enteisern muss aber zwingend bewusst gemacht werden, dass besonders bei diesen Flugzeugen die Konstruktionsmerkmale es erfordern, ihnen Vorrang bei der Enteisung unmittelbar vor dem Start einzuräumen und dass die Enteisung konsequent in zwei Schritten (2-step-process) erfolgen muss, wobei für den ersten Schritt ausnahmslos eine unverdickte Flüssigkeit (Typ I) oder heißes Wasser zu verwenden ist.

#### Konstruktive Einflüsse auf die Flugzeugenteisung

Aufgrund der Eigenschaft, dass verdickte Enteisungsflüssigkeiten durch die Anströmung ihre Viskosität verändern und dann vom Flugzeug abfließen, sind diese Flüssigkeiten nur für Flugzeuge geeignet, die während des Startlaufs auch die dazu notwendige Geschwindigkeit überschreiten. Bei Flugzeugen mit niedriger Rotationsgeschwindigkeit werden daher verdickte Flüssigkeiten zum Enteisen nicht verwendet.

Im Gegensatz zu kleineren Verkehrs- und Geschäftsflugzeugen können bei großen Verkehrsflugzeugen die zur Steuerung benötigten Kräfte nicht mehr über ein mechanisches Betätigungssystem aufgebracht werden. Das Kraftniveau zum Auslenken der Steuerflächen (Höhen-, Seiten- und Querruder) wird daher von einer Hydraulik aufgebracht.

Auch bei diesen Flugzeugen bilden sich aufgrund der Enteisung mit verdickten Flüssigkeiten in den Bereichen geringer oder fehlender Anströmung Rückstände, die Wasser aufnehmen und vereisen. Zu Problemen während des Flugbetriebes kommt



es mit diesen Flugzeugen nur deshalb seltener, weil die Hydraulik oftmals alle Betätigungswiderstände in der Mechanik und an den Steuerflächen überdrückt.

Auf Langstrecken eingesetzte Flugzeuge werden aufgrund der langstreckenspezifischen Umlaufstruktur und den klimatischen Bedingungen an den Zielorten nicht so oft enteist. Wie die Versuche gezeigt haben, hat das Einfluss auf die Menge der Rückstände. Die rehydrierten Rückstände sowie Komponenten, die eventuell durch die Einwirkung von Enteisungsflüssigkeiten unbrauchbar wurden, werden bei diesen Flugzeugen zum größten Teil im Rahmen der auf Flugstunden basierenden fortlaufenden Instandhaltung erkannt und entfernt.

Bei den aufgeführten betroffenen Mustern handelt es sich um Verkehrsflugzeuge mit einer Sitzplatzkapazität von 40 bis 130 Personen, die auf Kurz- und Mittelstrecken eingesetzt sind. Aufgrund ihrer Größe sind bei diesen Flugzeugen die Betätigungskräfte zur Auslenkung der Steuerflächen noch nicht so extrem, dass sie nur von einer Hydraulik aufgebracht werden können. Zur Reduzierung der Betätigungskräfte wird mechanisch nur ein Hilfsruder betätigt. Aerodynamisch entsteht daraus eine Kraft, die das angesteuerte Ruder in die beabsichtigte Richtung ausschlägt und dort hält.

Diese prinzipiell sehr wirkungsvolle und leichtgängige Steuerung reagiert sehr empfindlich auf Widerstände an den Ruderflächen. Ein schwergängiges Ruder oder Hilfsruder, eine Änderung der Rudermasse, z.B. durch eingeschlossenes Kondenswasser, anhaftendes Eis oder vereiste Enteisungsmittelreste, führt zu einer erheblichen Vergrößerung der Betätigungskräfte und als Folge davon zu einer Verzögerung in der Steuerwirksamkeit.

Die Untersuchungen der Flüssigkeiten haben gezeigt, dass die Ursachen für die Kontrollprobleme der Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung in den Eigenschaften der Enteisungsflüssigkeiten liegen, hygroskopische Rückstände zu bilden und Wasser aufzunehmen. Diese momentan noch unvermeidbaren Nebenwirkungen der verdickten Enteisungsflüssigkeiten können, wie geschildert, ein Risiko für die Flugsicherheit darstellen, das für die Luftfahrtgesellschaften inakzeptabel ist.

Sollten die Eigenschaften der verdickten Enteisungsflüssigkeiten, hygroskopische Rückstände zu bilden, nicht verbessert bzw. beseitigt werden können, muss der Umgang mit den bekannten Problemen für die Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung so geregelt werden, dass sich das flugbetriebliche Risiko auf ein Minimum reduziert.

Zur Risikominimierung sind Maßnahmen auf der Ursachen- und der Wirkungsseite notwendig. Bei den Ursachen ist es unumgänglich die Anwendung ver-

dickter Enteisungsflüssigkeiten für diese Flugzeuge organisatorisch auf das wetterbedingt unvermeidbare Maß zu reduzieren. Auf Seiten der Wirkung muss für den Fall, dass eine Typ-II- oder Typ-IV-Flüssigkeit verwendet werden musste, eine verbindliche Instandhaltungsmaßnahme stehen. Die dazu notwendigen Erklärungen und Anweisungen müssen die Flugzeughersteller in den Betriebsunterlagen der betroffenen Flugzeugmuster den Betreibern und Instandhaltungsbetrieben geben.

#### Organisation der Flugzeugenteisung

Die Ursachen für die weltweiten Probleme nach Flugzeugenteisungen liegen eindeutig in den Enteisungsflüssigkeiten. – Die Ursachen für die zunehmenden Probleme nach Flugzeugenteisungen in Europa, mit Ausnahme von Skandinavien, liegen ebenso eindeutig in den europäischen Verhältnissen. In den Vereinigten Staaten haben Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung deutlich weniger Kontrollprobleme nach Enteisungen als in Europa. Der Vergleich zeigt, dass dies nicht auf das Wetter oder die Enteisungsflüssigkeiten, sondern ausschließlich auf die Entwicklung des Enteisungsmarktes zurückzuführen ist.

Die Zunahme der Kontrollprobleme nach Enteisungen bei Flugzeugen ohne kraftverstärkte Steuerung hat ihren Ursprung darin, dass der Anteil der Enteisungen mit unverdickten Flüssigkeiten (Typ I) als Folge eines verringerten Angebotes an Typ-I-Flüssigkeiten immer weiter abgenommen hat. Nur noch ein Drittel aller Stationen in Europa bietet heute überhaupt noch eine Typ-I-Flüssigkeit an. Wenn es nicht gelingt, das Angebot an Typ-I-Flüssigkeiten und deren Verwendung in Europa wieder zu erhöhen, werden weiterhin aufgrund der momentan gängigen Praxis von der Flugzeugenteisung Risiken für die Sicherheit des Flugbetriebes ausgehen, die nicht mehr akzeptabel sind.

Solange die Flugzeugenteisung von den technischen Diensten der zugelassenen Luftfahrtunternehmen oder einem anerkannten Instandhaltungsbetrieb ausgeführt wurde, musste dieser Bodendienst als Aufgabenbestandteil dieser Unternehmen auch die luftrechtlichen Anforderungen für die Sicherheit des Flugbetriebes erfüllen, wie sie für die Instandhaltung noch heute gelten. Bei der Erfüllung ihrer fachlichen Funktion in der Luftfahrt werden die Instandhaltungsbetriebe durch die nationalen Luftfahrtbehörden überwacht. Seit der Bodendienst „Flugzeugenteisung“ von eigens dafür gegründeten Firmen ausgeführt wird, entfielen für ihn die luftrechtliche Forderung aus der Instandhaltung und die Überwachung. Geblieben ist nur die vertragliche Anbindung an das zugelassene Luftfahrtunternehmen.

Der Wunsch nach einer Enteisungsflüssigkeit für alle Flugzeuge besteht seit es in der Flugzeugenteisung mehrere Flüssigkeiten gibt. Die Möglichkeit, diesen Wunsch zu realisieren, entwickelte sich ausgerechnet aus den Unterlagen, die seit jeher die Grundlage für die jährliche Überarbeitung der Enteisungsplanung auf den Flughäfen sind. Die konstruktiven Besonderheiten der Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung sowie deren Auswirkungen wurden bislang weder in den Standards der SAE noch in den Vorgaben der AEA erwähnt. Auch die Betriebsunterlagen der betroffenen Flugzeuge unterscheiden sich hinsichtlich der Enteisungsproblematik nicht von denen für Flugzeuge mit kraftverstärkter Steuerung. Sie gestatten nahezu uneingeschränkt die Enteisung mit verdickten Flüssigkeiten.

Unter den genannten Gegebenheiten war es eine Frage der Zeit, wann sich aus Kostengründen und dem Wunsch vieler Luftfahrtunternehmen in Europa, möglichst langen Wiedergefrierschutz zu erhalten, eine Flugzeugenteisung nur mit verdickten Enteisungsflüssigkeiten entwickeln würde. Die berechtigten Einwände der von Kontrollproblemen betroffenen Flugzeugbetreiber gegen diese Entwicklung wurden mit dem Hinweis auf die Kosten abgewehrt. Mit den vertraglichen Regelungen zwischen den Enteisungsfirmen und den Luftfahrtunternehmen war und ist die Marktentwicklung nicht zu beeinflussen.

Sicherheit muss aus dem System kommen. Auf den Flugbetrieb eines Verkehrsflugzeuges übertragen bedeutet dies, dass alle an der Transportleistung des Luftfahrtunternehmens beteiligten Stellen diesem gemeinsamen Ziel verpflichtet sein müssen. Die Kontrollprobleme nach Flugzeugenteisungen und hier speziell die Fehlentwicklung des Marktes in Europa haben gezeigt, dass es für die Sicherheit des Winterflugbetriebes unverzichtbar ist, dass die Organisation der Flugzeugenteisung auch fachlich in das Gesamtsystem Luftfahrt eingebunden ist. Diese Einbindung ist zurzeit nicht vorhanden, weil die Enteiser als Vertragspartner der Luftfahrtunternehmen keiner luftrechtlichen Regulierung unterliegen.

## Schlussfolgerungen

Die unmittelbaren Ursachen für die schwere Störung waren:

- Nach mehreren Enteisungen mit verdickten Enteisungsflüssigkeiten (Typ II) kam es im Spalt zwischen der Flosse und dem Ruder des Höhenleitwerks zur Ansammlung trockener Polymerrückstände aus den Enteisungsflüssigkeiten.

- Durch Witterungseinflüsse nahmen diese stark hygroskopischen Rückstände aus der Luft ein Mehrfaches ihres Gewichtes an Wasser auf und wuchsen um ein Vielfaches ihres Volumens zu einer gelartigen Masse an.
- Bei niedrigen Umgebungstemperaturen gefror das stark wasserhaltige Gel, wodurch sich das Volumen so vergrößerte, dass es zu einer Klemmwirkung zwischen der (feststehenden) Flosse und dem (beweglichen) Ruder kam.
- Die Höhensteuerung war durch die Eisbildung blockiert, weil das Flugzeug nicht über eine kraftverstärkte Steuerung verfügte und über die Betätigungsmechanik das zur Verstellung des Ruders notwendige Kraftniveau nicht aufgebracht werden konnte.

Die systemischen Ursachen für die schwere Störung waren:

- Eine Bevorratung und Verwendung einer unverdickten Enteisungsflüssigkeit blieb in der jährlichen Enteisungsplanung der Flughäfen zunehmend unberücksichtigt, weil in den Vorgaben zur Flugzeugenteisung die konstruktiven Besonderheiten der Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung bislang nicht erwähnt werden.
- In einer auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Organisation der Flugzeugenteisung schränkten sich die Möglichkeiten einer Enteisung mit einer unverdickten Flüssigkeit wegen zu geringer Nachfrage bzw. zu hoher Komplexitätskosten in zunehmendem Maße ein.
- Die Zunahme der Enteisungen in Park- oder Abstellposition mit verdickten Enteisungsflüssigkeiten verminderte zusätzlich die Nachfrage nach Enteisungsflüssigkeiten ohne Verdicker.
- Die Reinigung der Flugzeuge erfolgte nach geplanten Vorgaben und mehrjährigen Erfahrungen in einem Betriebstage-Rhythmus, der die Anzahl der Anwendungen von verdickten Enteisungsflüssigkeiten, gemessen am heutigen Erkenntnisstand, nicht ausreichend berücksichtigte.
- In den Unterlagen des Herstellers für den Betrieb und die Instandhaltung des Flugzeuges wurde nicht ausreichend genug darauf hingewiesen, in welchen Intervallen Rückstände von Enteisungsmitteln zu entfernen sind.
- Die spezifizierten, genormten und ordnungsgemäß zugelassenen verdickten Enteisungsflüssigkeiten wiesen erhebliche Unterschiede in den Austrocknungs- und Rehydratationseigenschaften auf.

- Die großen Unterschiede in den Eigenschaften der genormten verdickten Enteisungsflüssigkeiten erschwerten die Festlegung von Reinigungsverfahren für das Flugzeug.

## Sicherheitsempfehlungen

Das Ergebnis der Untersuchung nahm die BFU zum Anlass für folgende Sicherheitsempfehlungen:

07/06 Das BMVBS sollte mit den für die Flughäfen zuständigen Luftfahrtbehörden der Länder ein gemeinsames Vorgehen abstimmen, wie die zuständigen Aufsichtsbehörden auf die für die Enteisung verantwortlichen Bodendienste einwirken können, dass auf den Verkehrsflughäfen, die von Flugzeugmustern ohne kraftverstärkte Steuerung regelmäßig angefliegen werden und auf denen eine Flugzeugenteisung angeboten wird, neben einer verdickten Enteisungsflüssigkeit (Typ II oder Typ IV) auch eine unverdickte (Typ I) Verwendung findet.

08/06 Die nationalen Untersuchungsstellen in Europa sollten ihren für die Luftfahrt zuständigen Behörden empfehlen, dass auf den Verkehrsflughäfen, die von Flugzeugmustern ohne kraftverstärkte Steuerung regelmäßig angefliegen werden und auf denen eine Flugzeugenteisung angeboten wird, neben einer verdickten Enteisungsflüssigkeit (Typ II oder Typ IV) auch eine unverdickte (Typ I) Verwendung findet.

09/06 Die Flugzeugenteisung als Maßnahme zur Erhaltung der Lufttüchtigkeit eines Flugzeuges im Winterflugbetrieb sollte durch zertifizierte und zugelassene Unternehmen unter der Überwachung der Luftfahrtbehörden wahrgenommen werden. Wird die Flugzeugenteisung nicht von einem Luftfahrtunternehmen oder anerkannten Instandhaltungsbetrieb durchgeführt, sollte der Bodendienst „Flugzeugenteisung“ in geeigneter Weise einer luftrechtlichen Regelung unterliegen.  
Die EASA sollte in Abstimmung mit den nationalen europäischen Behörden entsprechende Regelungen schaffen.

10/06 Die zu erwartenden Austrocknungs- und Rehydratationseigenschaften der verdickten Enteisungsflüssigkeiten (Typ II, III, IV) bei der Flugzeugenteisung sollten in der Normung so umfassend beschrieben und festgelegt sein, dass zwischen den Produkten verschiedener Hersteller keine signifikanten Qualitätsunterschiede mehr möglich sind.

Die EASA sollte Zulassungskriterien entwickeln, in denen verbindliche Grenzwerte und der Nachweis der uneingeschränkten Eignung, auch für Flugzeuge ohne kraftverstärkte Steuerung, festgelegt sind.

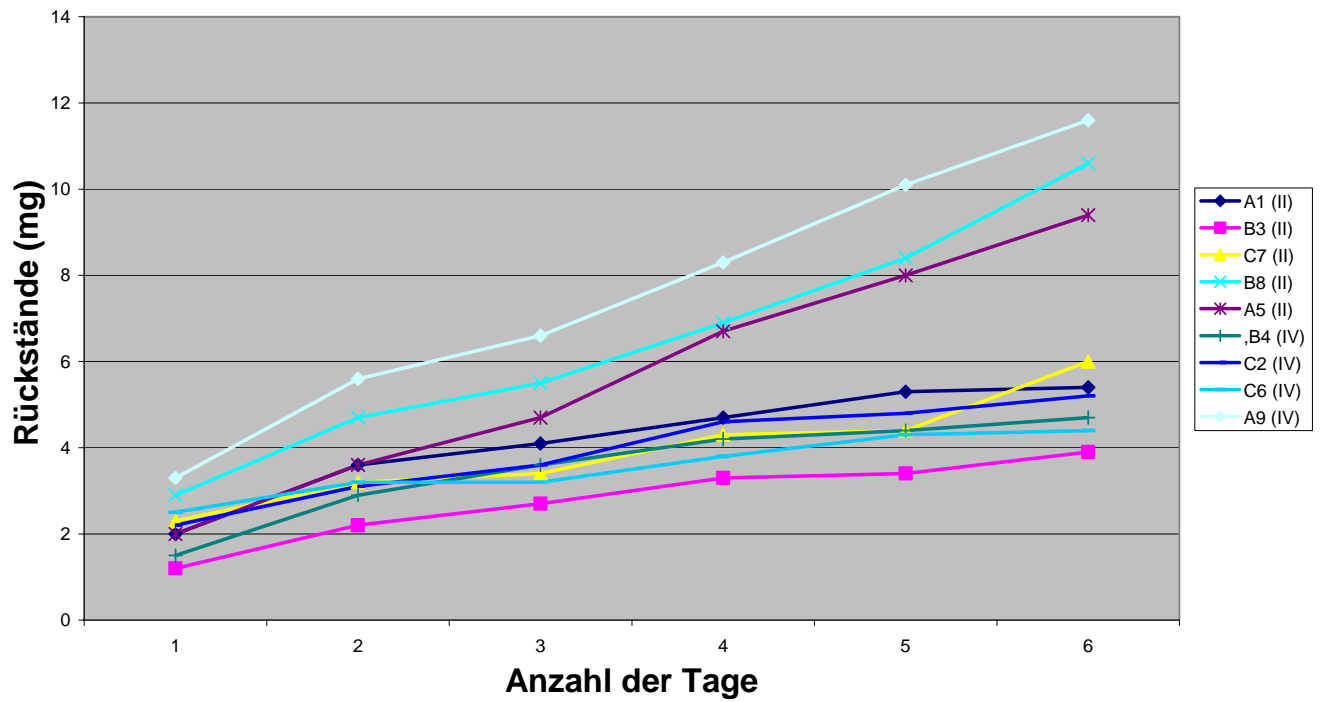
11/06 Die EASA sollte unter Berücksichtigung der derzeit zur Verfügung stehenden verdickten Enteisungsflüssigkeiten die Hersteller von Flugzeugen ohne kraftverstärkte Steuerung verpflichten, für ihre Flugzeugmuster verlässliche Verfahren zu entwickeln, mit denen hydrierte Enteisungsmittelrückstände erkannt und beseitigt werden können, bevor sie zu einer Gefahr für die Sicherheit des Flugbetriebes werden.

Untersuchungsführer K. Büttner

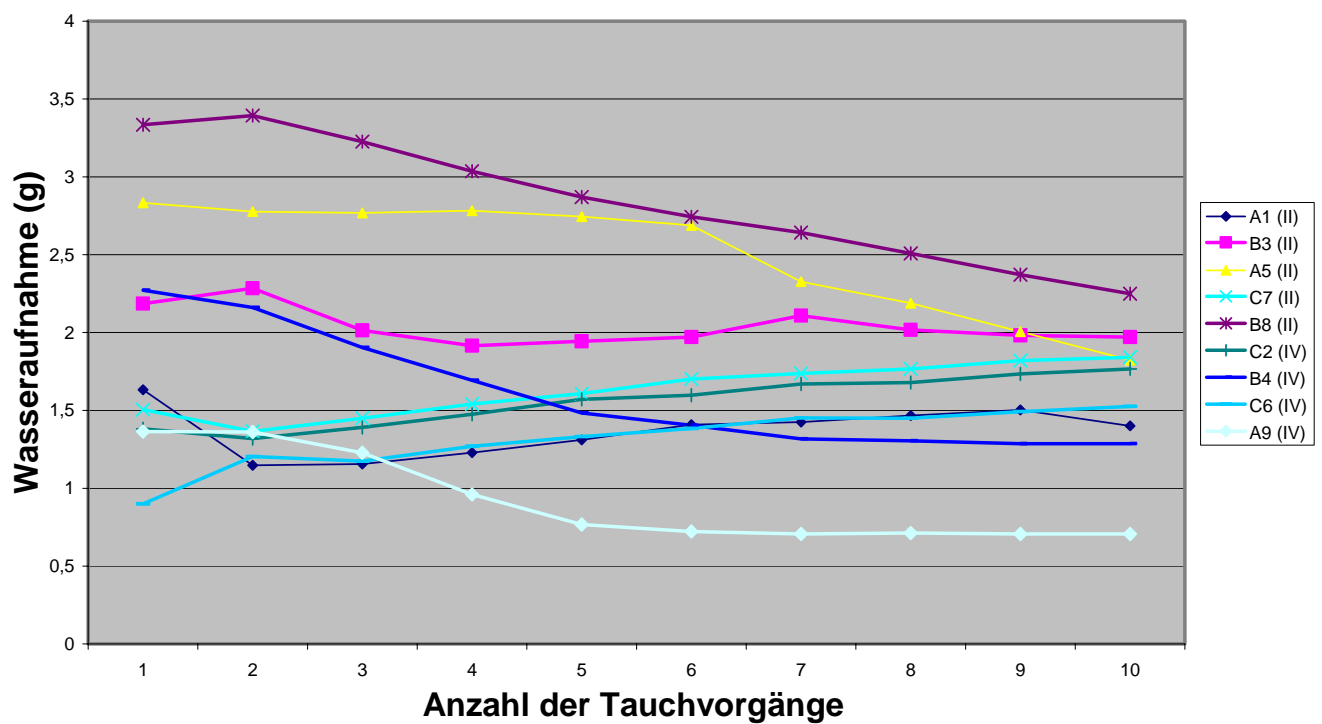
Anlagen: Diagramme

Anlage 1

Residue - Type II / IV (100 : 0)

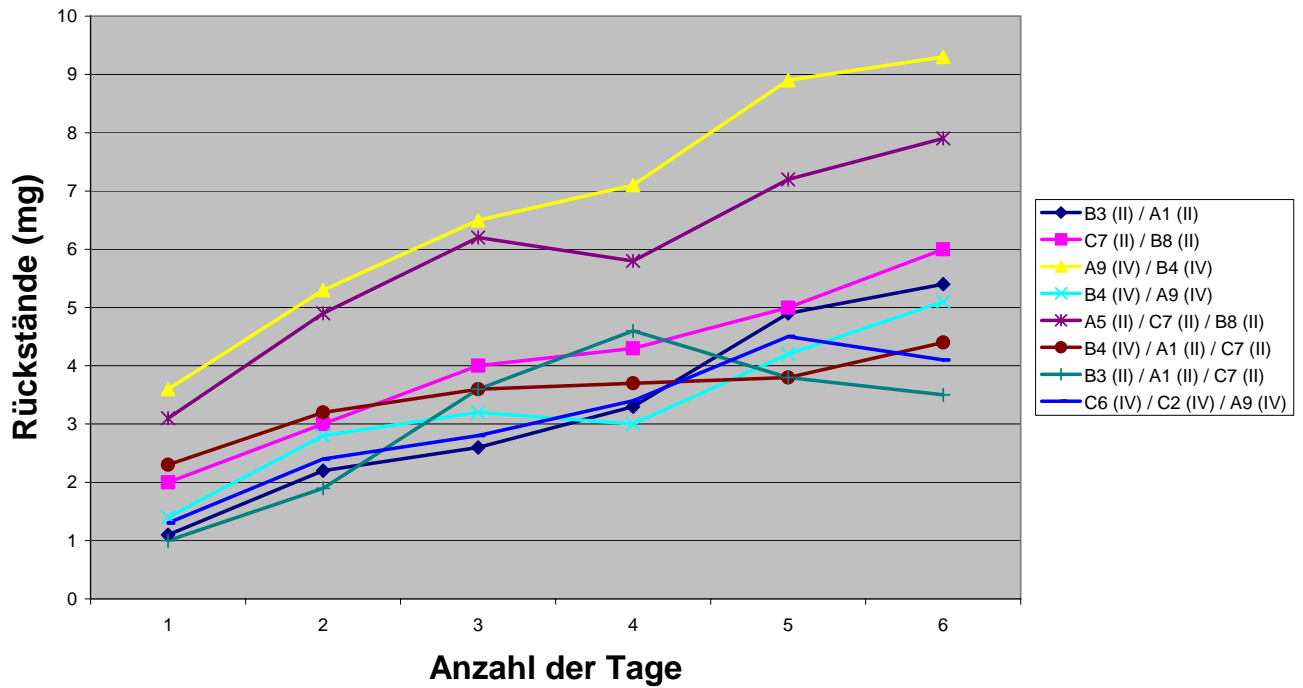


Rehydration - Type II / IV (100 : 0)

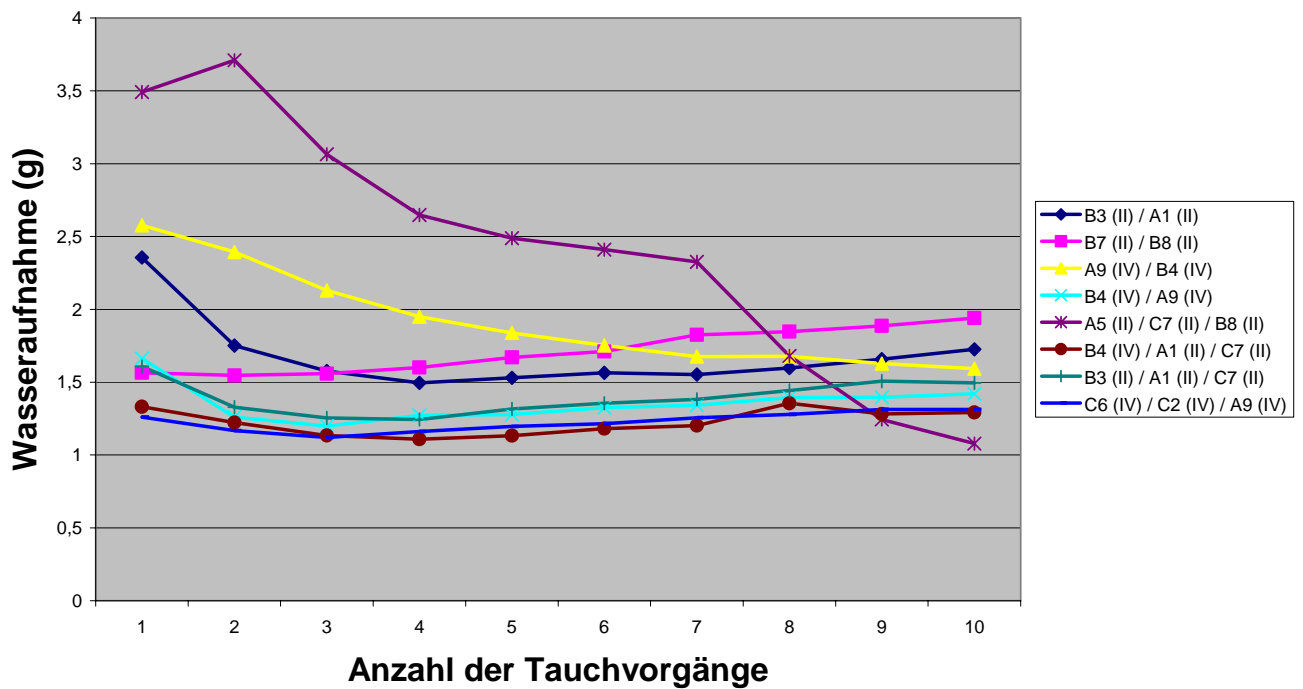


Anlage 2

**Residue - Type II/IV- MIX (100 : 0)**

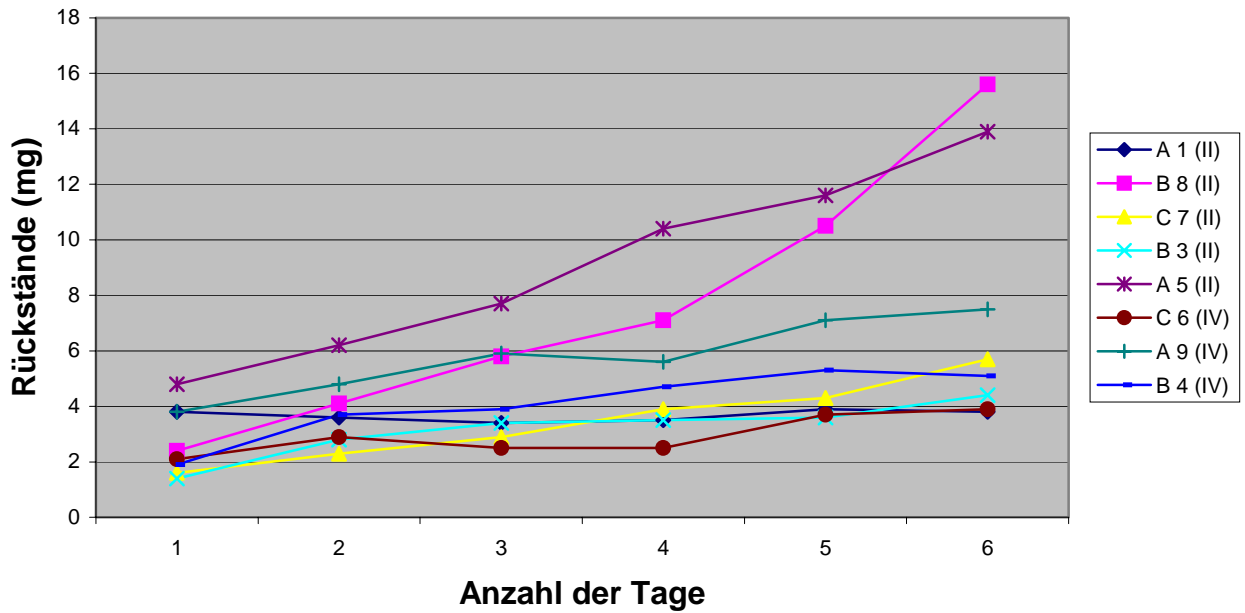


**Rehydration - Type II/IV- MIX (100 : 0)**

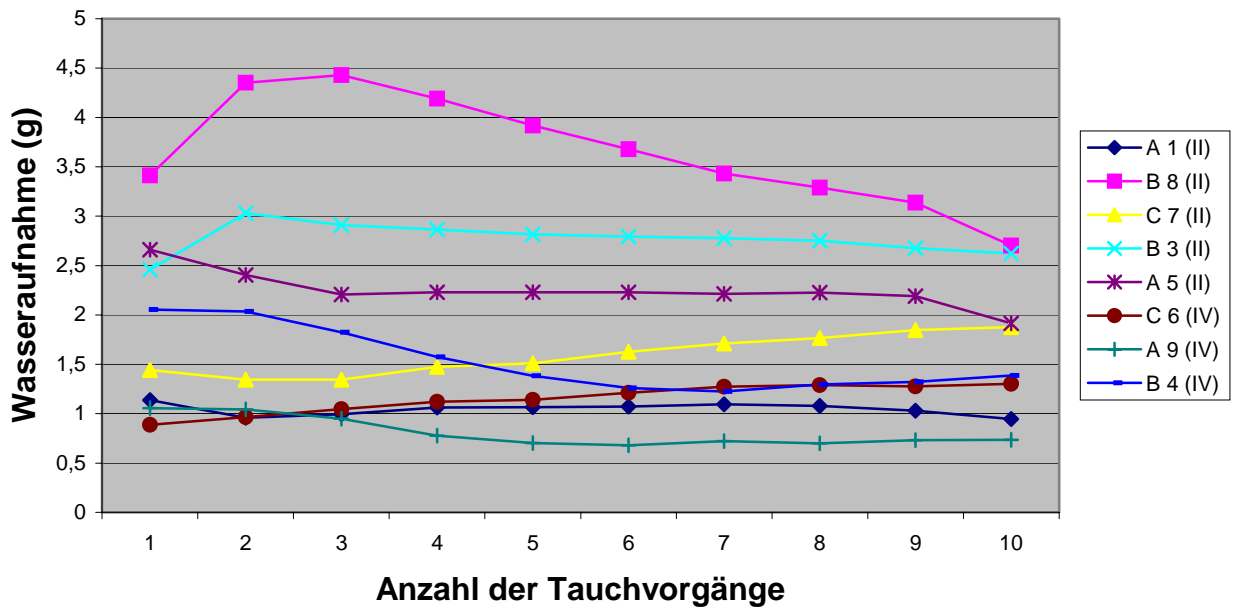


Anlage 3

Residue - Type II / IV (50 : 50)

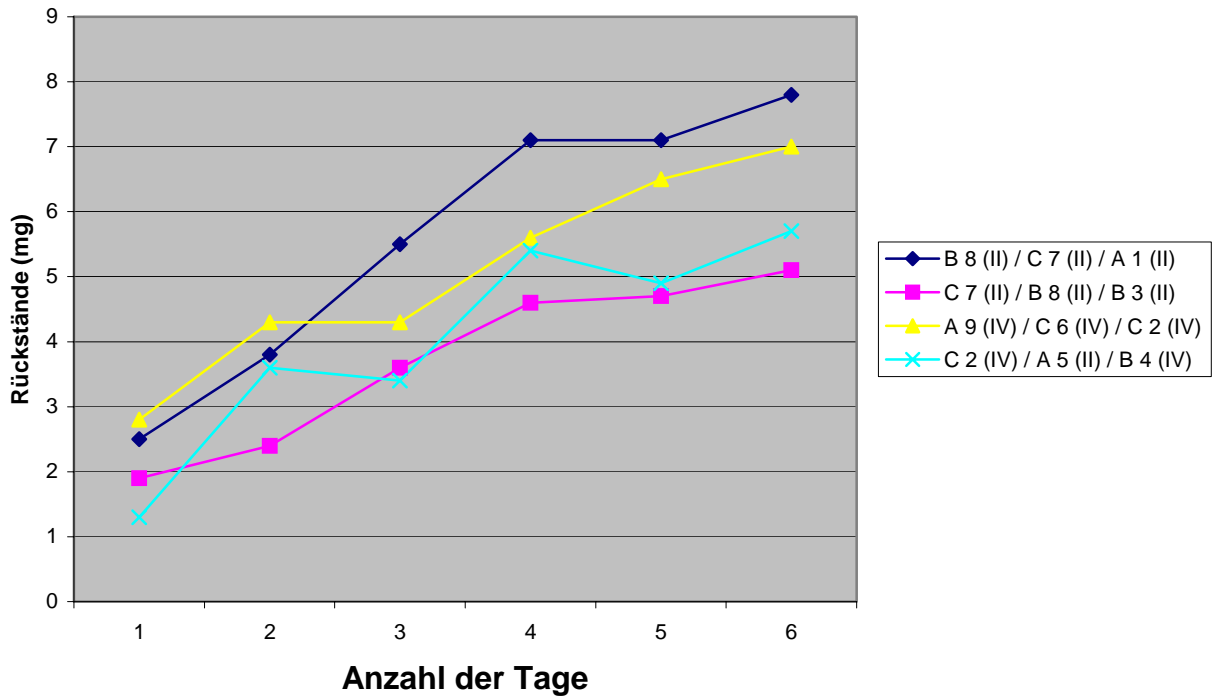


Rehydration - Type II / IV (50 : 50)



Anlage 4

**Residue - Type II / IV- MIX (50 : 50)**



**Rehydration - Type II / IV- MIX (50 : 50)**

