

## Einfluss der Elektrisierung von Flugzeugen auf die Flugsicherheit

Tepnadse, S. A.; Betaneli, A, J.; Apchaidse, A.A.

*Durch die technischen Möglichkeiten moderner Flugzeuge und die große Anzahl von Fliegern hoher Güte wird der Flug in Wolken und Niederschlägen zum alltäglichen Ereignis. Es lag daher nahe, die Wechselwirkungen zwischen Oberfläche des Flugkörpers und dem Strom der Hydrometeore (Wassertropfen, Schnee, Eiskristalle) weiter zu erforschen.*

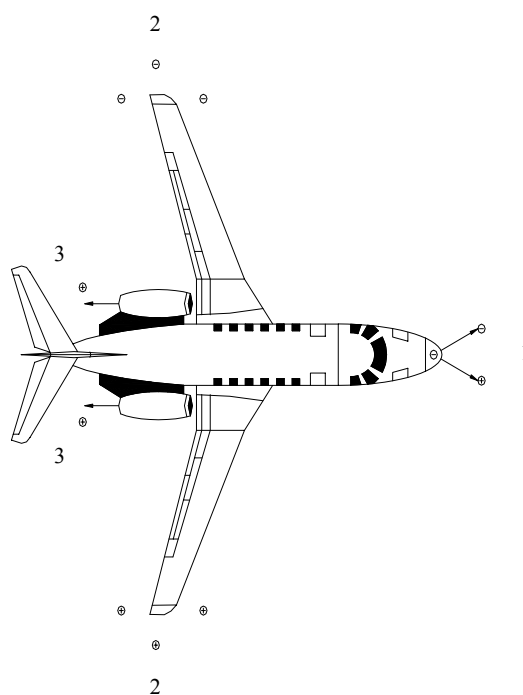
### 1 Einleitung

Durch die technischen Möglichkeiten moderner Flugzeuge und die große Anzahl von Fliegern hoher Güte wird der Flug in Wolken und Niederschlägen zum alltäglichen Ereignis. Es lag daher nahe, die Wechselwirkungen zwischen Oberfläche des Flugkörpers und dem Strom der Hydrometeore (Wassertropfen, Schnee, Eiskristalle) weiter zu erforschen. Diese Wechselwirkungen können, abgesehen von direkten mechanischen Einflüssen, weitere gefährliche Folgen haben, wie z.B. das Einfrieren von Flugzeugen. Dabei bildet sich eine dicke Schicht von Eis auf den Vorderteilen des Rumpfes, welche die aerodynamischen Parameter drastisch verschlechtert und somit auch die hebende Kraft des Flugzeuges verringert. Weit gefährlicher ist jedoch die Elektrisierung von Flugzeugen. Die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlages, in elektrisch aktiven Zonen, steigt durch die Elektrisierung deutlich und verschärft auch die Konsequenzen. Es sei angemerkt, dass das infolge der Elektrisierung des Flugzeuges gebildete eigene elektrische Feld oft selbst die Entladung beim Auftreffen auf das entsprechende Spannungsfeld provoziert. Zum Verständnis der Elektrisierung von Flugzeugen und der sie begünstigenden Vorgänge, aber auch zur Bestimmung einer Verbindung zwischen gewöhnlicher (Auf)Ladung und den Parametern der Bewölkung, wurden vom Institut für Flugwesen der Georgischen Technischen Universität theoretische und experimentelle Forschungsarbeiten durchgeführt.

### 2 Quellen und begünstigende Vorgänge bei der Elektrisierung von Flugzeugen

Für die Elektrisierung von Flugzeugen gibt es drei Ursachen:

- 1) Triboelektrische- bzw. Friktionsladungen, die sich auf dem Rumpf durch Reibung und Zusammenstoßen von Teilchen aus Niederschlägen und Wolken, ansammeln.
- 2) Induktionsladungen, welche in den Forderteilen des Flugzeuges beim Flug im elektrischen Feld entstanden sind, und
- 3) mit der Funktion der Motoren zusammenhängende Ladungen ( **Bild 1**).



**Bild 1:** Quellen der Elektrisierung von Flugzeugen  
1. Triboelektrizität, 2. Induktionsladungen, 3. mit der Funktion der Motoren zusammenhängende Ladungen

Die Analyse der experimentellen Daten hat ergeben, dass die triboelektrischen Ladungen vorherrschen und so den Grad der Elektrisierung des Flugzeuges bestimmen. Vernachlässigt man die Existenz von Entladungsströmen, kann man das beim Flug in den Wolken gewonnene Grenzpotential und die Bedeutungen der entsprechenden Grenzladung  $V_{\text{grenz}}$  folgenderweise durch eine Formel ausdrücken.

$$V_{\text{grenz}} = V_k \cdot f(L_F / r) \quad (1)$$

und

$$Q_{\text{grenz}} = V_k \cdot f(L_F^2 / r^2) \quad (2)$$

wo  $V_k$  - die Differenz der Kontaktpotentiale ist;  $L_F$  - ein mit der Flügelspannweite und mit den Rumpfmassen zusammenhängender Parameter und  $r$  - der durchschnittliche Radius der Wolkenteilchen (Hydrometeore). Das Grenzpotential moderner Flugzeuge  $V_{\text{grenz}}$  kann theoretisch Größenordnungen von  $10^7 - 10^8$  Volt erreichen, wenn es keine freie Entladungen beim Flugvorgang gäbe. Experimente haben ergeben, dass wegen dieser Entladungen das Potential und entsprechend die Ladung, real um ungefähr  $10^3$  geringer ist. Dies kann durch die folgende empirische Formel ausgedrückt werden.

$$Q = A \cdot n \cdot W \cdot V \cdot r / C \cdot \lambda_{\text{effektiv}} \quad (3)$$

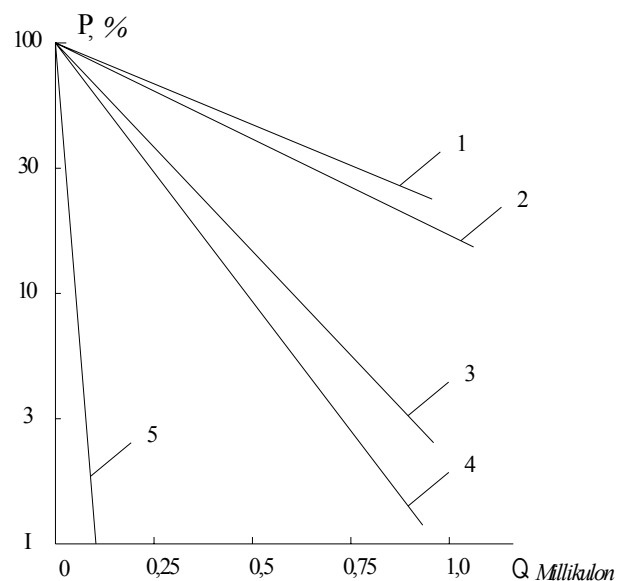
wo  $A$  und  $C$  empirische Konstanten sind;  $n$  - die Konzentration der von der Oberfläche des Flugzeuges gestreuten Hydrometeore;  $W$  - die Geschwindigkeit des Flugzeuges,  $V$  - die reale Bedeutung seines Potentials und  $\lambda_{\text{effektiv}}$  - die effektive elektrische Leitfähigkeit des umgebenden Mediums.

## 2.1 Zusammenhang zwischen gewöhnlicher (Auf-)Ladung von Flugzeugen und den Parametern der Bewölkung

Wie aus Formel (2) hervorgeht, wird die Intensität der Ladung bzw. der Elektrisierung des Flugzeuges durch die Bedeutung der Potentialdifferenz  $V_k$  bestimmt und diese hängt vom Phasenzustand und von der Form der Wolke ab. Diese theoretische Meinung wurde durch die Experimente, die von uns in den Jahren 1992-2000 in der Region des Tbilisser Flughafens durchgeführt wurden, bestätigt. Mit Hilfe von speziellen Messgeräten am Boden von Reiseflugzeugen, wurden die maximalen Ladungen bestimmt. Aus der Wetter- und Radarstation wurden die Wolken zur Bestimmung ihrer Form, Phasenzustands, Wässerigkeits- und Raumparameter beobachtet. Die Analyse der experimentellen Daten hat ergeben, dass mit Zunahme der Wolkendicke auch die Ladung des Flugzeuges steigt. In Einzelfällen gewinnt das Flugzeug beim Flug in großen dichten Wolken, eine 10-12 mal höhere Ladung als in dünneren Wolken gleicher Form.

Auf dem **Bild 2** ist das Verhalten, für den Flugzeugtyp Yak 40, von Ladungsgröße zu Wolkenform und Wolkenzustand angegeben. Die einzelne Form der Wolken wird statistisch mit der normalen loga-

rithmischen Verteilung charakterisiert, die die Wahrscheinlichkeit der Gewinnung der Ladung beschreibt. In Kurve 1 ist die höchste Wahrscheinlichkeit der Gewinnung von Ladung gegeben (Konvektionswolken Cu Cong), in Kurve 2 und 3 sind die Wahrscheinlichkeit für Ladungsgewinnung von Haufen- und Regenwolken angegeben. Kurve 4 gibt die Wahrscheinlichkeit in einer Schicht von Regenwolken ( $N_s$ ) an, die durch die größere Wässerigkeit und entsprechend durch die große Konzentration der Teilchen charakterisiert ist, während die Wahrscheinlichkeit in Kurve 5 (Wolken vom Typ  $S_t$ ,  $S_c$ ,  $A_s$ ,  $A_c$ ) eher gering ist.



**Bild 2:** Wahrscheinlichkeit der Gewinnung von Ladung zu Form der Wolke, für den Flugzeugtyp Yak 40 angegeben 1 – Cu Cong; 2 – Cb mit Gewitter; 3 – Cb ohne Gewitter; 4 –  $N_s$ ; 5. –  $S_t$ ,  $S_c$ ,  $A_s$ ,  $A_c$

Die durchgeführten Experimente haben auch ergeben, daß der Strom ( $I$ ) der Bilanzladung zur Geschwindigkeit des Flugzeuges und zur durchschnittlichen Fläche, auf welche die Hydrometeore wechselseitig wirken und die von der Konzentration dieser in den vorhergegangenen Wolken abhängig ist, gerade proportional ist. Die Resultate der Beobachtungen sind in Tabelle 1 für verschiedene Flugzeugtypen, beim Flug in den verschiedenen atmosphärischen Verhältnissen, angegeben.

| Flugzeugart          | Yak 40    | Tu-134    | Tu-154    |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Form der Wolken      |           |           |           |
| Flügel Wolken        | 350 - 420 | 400 - 480 | 450 - 500 |
| Schicht Wolken       | 500 - 700 | 550 - 900 | 650 - 950 |
| Schicht Regen Wolken | 3000      | 3800      | 4000      |

**Tabelle 1:** Charakterisierende Bedeutungen ( $I_{\text{kennzeichnung}}$ ) der Ladungsströme des Flugzeuges in Mikroampere beim Flug in den Wolken verschiedener Form.

Auf der Tafel ist angegeben, dass sich die charakterisierende Bedeutung des Ladungsstromes eines Flugzeuges in den Wolken mit ihrer Größe und Zunahme der Wässerigkeit erhöht. Zum Beispiel beträgt die durchschnittliche Größe von  $I_{\text{kennzeichnung}}$  beim Flugzeugtyp Tu-154 in den Flügelwolken 475 Mikroampere, in den Schichtwolken 800 Mikroampere, aber in der Schicht von Regenwolken 4000 Mikroampere. Analoges gilt für die Flugzeuge vom Typ Yak-40 und Tu-134.

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Hervorgehend aus den Resultaten der durchgeführten Arbeiten können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Es gibt drei Ursachen für die Elektrisierung von Flugzeugen: Triboelektrisierung, die Ansammlung der Ladung auf dem Flugzeugrumpf infolge des Zusammenstoßens und der Reibung mit den Hydrometeoren. Induktive Elektrisierung, beim Flug im elektrischen Feld und das mit der Funktion der Motoren zusammenhängende (Auf)Laden. Der Vorgang der triboelektrischen Ladung, ist der vorherrschende Effekt.

2. Die empirischen Formeln für das Bestimmen der Grenzpotentiale von Flugzeugen und der Bedeutungen der oberflächlichen Ladung wurden bestätigt. Die realen Größenordnungen des Grenzpotentials moderner Flugzeuge können 10 bis 100 Kilowatt betragen.

3. Die Intensität der Ladung (der Elektrisierung) des Flugzeuges wird mit der Differenz der Kontaktpotentiale bestimmt, die wiederum vom Phasenzustand, von der Wässerigkeit und von den geometrischen Kennzeichen der Wolken abhängig ist. Der Betrag der oberflächlichen Ladung eines Flugzeuges ist in den vertikal entwickelten dichten Wolken höher ( $\approx 10-12$  mal), als in den dünneren Wolken jener Formen.

4. Der Ladungsstrom eines Flugzeuges ist linear proportional zur Geschwindigkeit des Fluges, zur durchschnittlichen Fläche, auf welche die Hydrometeore wechselseitig wirken und zu ihrer Konzentration in den Wolken. Deshalb hängt seine Größe im allgemeinen von den geometrischen Parametern der Flugzeuge und von der Beschaffenheit der Wolken ab.

5. Beruhend auf der operativen Radiolokationsbeobachtung der Bewölkung und der Resultate von Messungen, kann man das Flugrisiko für die konkreten Flugzeuge in den Zonen der angegebenen elektrischen Aktivität schätzen und entsprechend ihre Sicherheit erhöhen.

### 4 Literatur

- /1/ Tepnadse S, Apchaidse A. Eigentümlichkeiten der Wechselwirkung von Flugzeugen und Atmosphäre beim Flug in den Zonen der hohen elektrischen Aktivität. Werke der Georgischen Technischen Universität, 1997, № 3 (414) Seiten 332-336.
- /2/ Imjanitow. I.M. Elektrisierung von Flugzeugen in den Wolken und Niederschlägen. L: „Gidrometeoisdat“ 1970, Seite 210.
- /3/ Apchaidse A.A, Amiranashwili A.G, Balawadse A.Sch. Gewisse Gesetzmäßigkeiten der Verteilung von Ozon, der natürlichen radioaktiven und nicht radioaktiven Aerosole und des intensiven elektrischen Feldes in der unteren Troposphäre. Werke Allunionsberatung über Ozon. M. "Gidrometeoisdat". 1980, Seiten 181-189.
- /4/ Apchaidse A.A, Balawadse A.Sch, Doreuli P.I. Gewisse Resultate radioaktiver Forschung der Konvektionswolken im Rayon des südgeorgischen Hochlandes. Werke der Akademie für Wissenschaften von GSSrR T.44. Tbilissi "Mezniereba", 1978, Seiten 38-46.

