

Vogelschlag - Verhinderung und technische Toleranzen

(Aircraft Birdstrikes - Preventing and Tolerating)

von R.J. SPEELMAN III, M.E. KELLY, R.E. MCCARTY, J.J. SHORT, Wright-Patterson Air Force Base /Ohio-USA

(Auszugsweise und sinngemäß aus dem Englischen übertragen von K.H. Hartmann, Oberursel/Ts.)

Zusammenfassung: Im Jahresdurchschnitt werden durch etwa 3000 Vogelschläge an Flugzeugen der USAF Schäden in Höhe von 50 bis 80 Millionen US-Dollar verursacht. Weltweit entstehen der Flugzeugflotte hierdurch Kosten von schätzungsweise mehr als 3 Billionen US-Dollar im Jahr. Es werden Argumente dargelegt, die im Rahmen der Vogelschlagbekämpfung bei der Musterzulassung mit bedacht werden sollten. Ferner werden einige Methoden aus jüngster Zeit beschrieben, durch die die Anzahl der Kollisionen insbesondere mit Vogelschwärmen und einzelnen Großvögeln erheblich reduziert werden kann. Zur Reduzierung der Vogelschlaghäufigkeit werden bei diesen neueren Methoden aero- und bio-wissenschaftliche Erkenntnisse gemeinsam genutzt.

Mit dieser Veröffentlichung soll eine Grundlage für Gespräche über die Musterzulassung im Hinblick auf die Vogelschlagfestigkeit und Vogelschlagvermeidung geschaffen werden.

Summary: In an average year about 3000 birdstrikes cause 50-80 million US dollars in damage to USAF aircraft. To the world-wide aviation fleet this problem is estimated to cost more than three billion US dollars per year. Factors for consideration in establishing birdstrike resistance requirements, and in validating compliance with these requirements are presented. Also presented are some emerging technologies that can be used to greatly reduce the number of birdstrikes, especially with flocks of birds and with large individual birds. These emerging technologies combine aero-science and bio-science to lower the frequency of birdstrikes.

1. Vogelschlag-Aspekte

Vogelschläge sind relativ seltene Ereignisse. Die meisten Piloten gehen ihrem Beruf nach, ohne dabei einen nennenswerten Vogelschlag zu erleben. Gefährliche Vogelschläge werden als Ereignisse pro Millionen Flugstunden gezählt. Aus den in den 70er Jahren gesammelten Aufzeichnungen geht hervor, dass bei etwa 95% aller Vogelschläge an USAF-Flugzeugen Vögel mit einem Gewicht von weniger als 1,8 kg beteiligt waren. Bisher gemeldete Vogelschläge an Flugzeugen außerhalb der USAF weisen ähnliche Trends auf; d.h. die Wahrscheinlichkeit der Begegnung mit einem Vogel von nennenswertem Gewicht ist recht gering. Aus jüngster Zeit stammende Analysen operativer Statistiken lassen jedoch eine Zunahme dieser Gewichtsklasse bis zu 2,0 - 2,3 kg erkennen. Man darf annehmen, dass hierfür zwei Faktoren ausschlaggebend sind; zum einen: der Trend zu Tiefflügen in Korridoren, wo Lärm auf weniger Widerstand bei der Zivilbevölkerung stößt. Dies hat eine zunehmende Nutzung von Korridoren zur Folge, die wahrscheinlich durch große Vögel bewohnt werden. Der zweite Grund sind die wachsenden Populationen dieser großen Vögel.

2. Kosten

Zwar ist ein nennenswerter Vogelschlag selten, er kann aber sehr kostspielig werden. Die USAF wird jährlich von etwa 3000 Vogelschlägen betroffen, die zum Verlust von etwa 1 bis 2 Flugzeugen im Jahr sowie dem Verlust von 1 bis 2 Besatzungsmitgliedern alle 3 bis 5 Jahre führen. Die der USAF entstehenden Kosten für Vogelschlagschäden belaufen sich auf etwa 50 Millionen US-Dollar pro Jahr. Nun gelten jedoch die o.e. Zahlen für Durchschnittsjahre, und die Kosten sind *erheblich* höher in den Jahren, wenn eine der Verlustmaschinen ein großes Flugzeug war (B-1 im Jahre 1987, E-3 AWACS im Jahre 1995). Wenn sich an Bord des Flugzeuges viele Menschen befinden, können zudem die Lebensversicherungskosten sehr hoch sein. Die der Flugzeugflotte weltweit durch Vogelschlag entstehenden Kosten liegen schätzungsweise bei mehr als 3 Billionen US-Dollar pro Jahr. Ein großer Teil dieser Kosten entsteht im Zusammenhang mit der Streichung ziviler Passagierflüge und der Bereitstellung von Ersatzflügen bzw. -flugzeugen für die Passagiere. Die durch Aufprallschaden entstehenden Kosten hängen in erster Linie von folgenden Faktoren ab: Vogelgewicht, Anzahl der beteiligten Vögel, Aufprallgeschwindigkeit, Aufschlagstelle am Flugzeug, Flugphase beim Vogelschlag, Auswirkung des Schadens auf die Fähigkeit des Flugzeuges, weiterzufliegen und sicher zu landen.

3. Vorhersagemöglichkeiten

Auch wenn Vogelschläge selten sind, so sind sie ebenso wie ihre Auswirkungen jedoch vorhersagbar. Der Flugweg eines Flugzeuges liegt in einem vorgegebenen Bereich des Luftraumes. Innerhalb dieses Luftraumes gibt es saisonale, sowie tagsüber und nachts variierende Verteilungen von Vogelpopulationen. Bei einigen Vogelarten begegnet man häufig nur Einzelexemplaren, während Vogelschläge bei anderen Arten durchaus mit Schwärmen stattfinden. Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit einer bestimmten Vogelgewichtsklasse ist daher vorhersagbar, und die Wahrscheinlichkeit, dass bei solchen Kollisionen Vogelschwärme beteiligt sind, ist abschätzbar. Zeit- und Geschwindigkeitsverlauf eines Flugzeuges in verschiedenen Höhenbereichen können zwecks genauerer Schätzung der wahrscheinlichen im Moment des Aufpralls gegebenen Geschwindigkeits- und Gewichtsbe- reiche vorhergesagt werden.

Die wahrscheinliche Aufprallstelle am Flugzeug hängt in starkem Maße von der frontal exponierten Fläche der jeweils in Frage kommenden Bauteile ab. Während diese Bereiche von Flugzeugtyp zu Flugzeugtyp unterschiedlich sein können, sieht die nominelle Verteilung der Vogelschläge nach Darstellung der USAF z.B. für die Zeit von 1989 bis 1993 folgendermaßen aus:

Triebwerke	21%	Rumpf	11%
Tragflächen	19%	Mehrfachstellen	11%
Windschutzscheiben	17%	Fahrwerk	5%
Radom	16%		

Den beauftragten Mitarbeitern stehen zur Vorhersage der Wahrscheinlichkeit eines Vogelschlags und seiner strukturellen Folgen für das Flugzeug analytische Hilfs- mittel zur Verfügung. Diese Hilfsmittel sind auch bei der Konstruktion der einzel- nen Bauteile anwendbar, die solche Vogelschlagenergien auffangen sollen. Zu den Aufgaben der International Birdstrike Research Group gehört gegenwärtig auch die Erarbeitung Computer-gestützter Modelle von Vogelschwärmen, die im Zu- sammenhang mit anderer Software zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit ver- wendet werden, dass eine einzelne Flugzeug-/Vogelschwarm-Kollision an mehr als einem Flugzeugbauteil nennenswerten Schaden verursacht (Beispiel: zwei oder mehr als zwei Triebwerke bei **einem** Vogelschlagereignis).

4. Bekämpfungsmöglichkeiten

Vogelschläge sind unvermeidbar, aber die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens ist beeinflussbar. Habitatmodifizierungen in Flugplatzbereichen können eine Zunahme oder Abnahme der Vogelpopulation bewirken, z.B. die Kontrolle der Vegetati- onshöhe in Flugbetriebsbereichen kann die Attraktivität für Vögel reduzieren, und

die Duldung von Mülldeponien oder Gewässern im Flugplatzbereich kann sich z.B. vogelfreundlich auswirken.

Die zwangsläufige Vorstellung, dass zur Vermeidung von Vogelschlag der Pilot den Vogel wahrnimmt und ihn dann ausmanövriert, bietet keine besonders praktische Lösung. Fluggeschwindigkeit, Wahrnehmungszeit, Reaktionszeit der Besatzung schließen eine Reaktion nahezu aus.

Wenn ein Flugzeug auf Kollisionskurs mit einem Vogel ist, erscheint der Vogel als stationärer Punkt, der viel schwieriger wahrzunehmen ist, als ein sich bewegender; oder anders gesagt: der Pilot wird mit wesentlich höherer Wahrscheinlichkeit einen Vogel wahrnehmen, mit dem er **nicht** kollidieren wird, als einen, mit dem er kollidieren wird.

Die Modelle zur Vorhersage der Vogelschlagwahrscheinlichkeit sind inzwischen unter dem Namen **Bird Avoidance Models** (BAMs) bekannt geworden und werden für den Vergleich von Ausweich-Flugkorridoren hinsichtlich ihres relativen Vogelschlagrisikos verwendet.

Drei neue Wege zur Reduzierung der Vogelschläge werden gegenwärtig erforscht:

- a) Wirksame Fernhaltung der Vögel vom Flugweg der Flugzeuge; dabei werden spezielle Geräusche und "hörbares" Radar angewendet, was die Vögel veranlassen soll, das Flugzeug rechtzeitig wahrzunehmen und auszuweichen. Bei Laborversuchen wurde festgestellt, welche Radar-Modulationen von Vögeln wahrgenommen werden. Dabei hat man "Geräusche" herausgefunden, die zu Reaktionen führen. Die Forschung hat gezeigt, dass Vögel zwar gegen Ultraschall und entsprechende Frequenzen oberhalb der vom Menschen wahrnehmbaren unempfindlich sind, sie jedoch Infraschall oder unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegende Frequenzen durchaus wahrnehmen können. Unter Laborbedingungen reagieren sie auf diese "Geräusche" in einer Weise, die darauf schließen lässt, dass sie visuell nach dieser "Geräusch"-quelle suchen und dadurch ihre Chancen verbessern ein Flugzeug wahrzunehmen und eine Kollision zu vermeiden.

Die erste wahrscheinliche Anwendungsmöglichkeit dieser "Infraschall-Warmethode" könnte es in einem bodengestützten System an einem Flugplatz geben, wobei die "Geräusch"-Reize zeitlich so abgestimmt sein müssten, dass der Eindruck entsteht, ein Flugzeug würde die "Geräusch"-quelle sein. Wenn sich kein Flugzeug nähert, sollte auch kein "Geräusch"-Reiz verbreitet werden. Versuche mit Wildvögeln haben bestätigt, dass bei Emission spezieller "Geräusche" oder "hörbarer" Mikrowellen (Reizausstrahlung erfolgt einige Sekunden vor Ankunft eines Hochgeschwindigkeitsfahrzeuges) die Vögel das ankommende

mende Fahrzeug eher wahrnehmen und mit ihrem Ausweichmanöver eher beginnen, als wenn kein Reiz erfolgte. Bei diesen Versuchen wurden Vögel verwendet, die einige Stunden oder Tage zuvor eingefangen worden waren. Zehn Vögel wurden in einen großen am Rand eines geradlinigen Straßenabschnitts aufgestellten Käfig gesetzt; die Straße war während der Versuchsdauer für den sonstigen Verkehr gesperrt. Nachdem die Vögel zur Ruhe gekommen waren, startete ein Schnellfahrzeug mit einer maximalen Geschwindigkeit von 70 MPH. Sobald sich das Fahrzeug ein paar Sekunden vom Käfig entfernt hatte, löste ein Sensor auf der Straße einen "Geräusch"-Reiz oder keinen Reiz aus. Mit den meisten Vögeln wurden 5 Durchgänge gemacht, dann wurden sie freigelassen, und die Versuche wurden mit einer anderen Gruppe von Vögeln wiederholt. Zwecks kontinuierlicher Aufzeichnung des Vogelverhaltens wurden eine Videokamera und ein Tonbandgerät eingesetzt.

Die Versuche haben gezeigt, dass die Vögel nicht dazu neigen, sich an die Reize zu gewöhnen und sie zu ignorieren, wenn es kein "falscher Alarm" war. Nach den Reizen erschien dann stets das furchterregende superschnelle Fahrzeug. Tatsächlich gab es Anzeichen dafür, dass die Vögel zu lernen begannen, die Reize mit dem furchterregenden Fahrzeug zu assoziieren; ihre Fähigkeit, das Fahrzeug wahrzunehmen und auszuweichen, verbesserte sich.

Ähnliche Versuche mit Wildvögeln ohne Käfig wurden zuvor schon in der Nähe einer Deponie durchgeführt, wobei die Tiere mit Futter auf eine Straße gelockt wurden. Unter diesen Bedingungen hatten die Vögel das nahende Fahrzeug viele Sekunden bevor sie flüchten mussten, wahrgenommen, und sie fingen dann an, unruhig zu werden, starteten das Fahrzeug an und zögerten mit ihrem Fluchtmanöver bis zur letzten Sekunde. Sobald bei diesem Versuchsmodell "Geräusch"- und modulierte Mikrowellenreize verwendet wurden, erwartete man wenig Wirkung, da die Vögel das Fahrzeug schon lange vorher wahrgenommen hatten. Doch die summierten Reize erzeugten offenbar einen "Nervositätseffekt", und die Vögel verschwanden eher als sonst. Dieser "Nervositätseffekt" könnte bei Ausweichmanövern der Vögel den Erfolg noch steigern. Nachdem mit einem Teil der Vögel die Versuchsreihen insgesamt beendet worden waren, wurden Reize ohne Einsatz eines Fahrzeugs ausgestrahlt. Zunächst reagierten die Vögel, lernten aber bald, dass die Reize falscher Alarm waren und hörten auf, zu reagieren. Hierdurch wurde eine der in diesem Programm geltenden Grundvoraussetzungen bestätigt, nämlich: man gebe den Vögeln niemals einen falschen Alarm, denn vom **Flugzeug** geht die Bedrohung aus; und die "Geräusch-Erzeuger" sollen Reize an die Vögel aussenden, sobald ein Flugzeug, d.h. die eigentliche Bedrohung, in Erscheinung tritt.

Die Versuchsergebnisse lassen auch erkennen, dass die Anzahl der bei Start und Landung vorkommenden Vogelschläge an Großflugzeugen um 60%, und

an kleineren Flugzeugen um mehr als 95% reduziert werden können. Eine Reduzierung um 20% wird bereits als "signifikant" angesehen. Wenn nun 50% als voller Erfolg definiert sind, und die gewonnenen Daten erkennen lassen, dass die Ergebnisse erheblich besser sind, so ist wohl die Schlussfolgerung durchaus berechtigt, dass diese Methode weiter verfolgt werden sollte.

Es könnte auch möglich sein, mittels einer speziellen Radar-Modulation einen "Benommenheitseffekt" zu erzeugen, durch den sogar recht beharrliche Vögel gezwungen werden, Flugbetriebsbereiche sowie Gleitwege zu meiden und fliegende Vögel veranlasst, vor dem Flugzeug "abzutauchen". Dieser "Benommenheitseffekt" wurde im Rahmen des laufenden Programms zwar nicht weiter verfolgt, doch gab es Erkenntnisse, dass in der Vergangenheit durch verschiedene Radargeräte bei bestimmten Vogelarten eine Art "Benommenheitseffekt" erzeugt wurde. Es wäre daher durchaus denkbar, ein Radarsystem zu konstruieren, bei dem durch eine bestimmte Modulation eine Art "Benommenheit" bei Vögeln ausgelöst wird. Solch ein Radargerät könnte als Boden- oder als Bordradar eingesetzt werden. Das Bodenradar würde bei Anflug und Start durch einen präzise focussierten Strahl die Vögel von den S/L-Bahn-Bereichen und den Gleitwegen vertreiben. Ein Bordsystem würde die "Benommenheitsmodulation" nur dann anwenden, wenn der Radarstrahl dem Flugzeug direkt voraus gerichtet ist. Dadurch könnten Vögel, denen eine Kollision droht, gezwungen werden, vor dem Strahl abzutauchen. Die gegenwärtig laufenden Versuche sind bald abgeschlossen, und es wird möglicherweise einmal im Handel erhältliche Systeme für Flughäfen und Flugzeuge geben, die zu einer entsprechenden Vertreibung von Vögeln führen können.

- b) Beim zweiten Versuchsansatz sollte das Bordradar zur Erfassung auf Kollisionskurs befindlicher Vögel verwendet werden, um dem Piloten fliegerische Reaktionen zu ermöglichen.

Die Radarverfolgung von Vögeln ist seit langer Zeit ein Hilfsmittel bei der Arbeit der Ornithologen. Die für Flugweginformationen eingesetzten Boden- und Bordradargeräte werden beide auch zur Erfassung von Vögeln verwendet. Diese in dem System *Vogel erfassen/Pilot warnen* angewendete Methode greift die Informationen über Vogelerfassung auf und verarbeitet sie mittels eines Systems künstlicher Intelligenz zusammen mit Flugweginformationen für die Vorhersage zu erwartender Vogelschläge. Bei Vogelschlägen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit gefährlich werden können, kann die Flugzeugbesatzung gewarnt werden und ausweichen.

Ein kleineres Projekt läuft z.Z. unter Verwendung von Bordradar in Flugzeugen. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass die Radarsysteme sogar kleinere Vögel in einer Entfernung von 2 bis 3 Meilen mit einer Wahrscheinlichkeit von 90%

erfassen können. Einzelne große Vögel und Vogelschwärme sind viel leichter und bereits aus sehr viel größerer Entfernung zu erfassen, als einzelne kleinere Vögel. Wenn man bedenkt, dass das System *Vogel erfassen/Pilot informieren* dem Piloten wahrscheinlich niemals etwas über einzelne kleinere Vögel mitteilen könnte, und dass eine Warnung wahrscheinlich erst dann ausgegeben würde, wenn das Flugzeug sehr viel weniger als 2 bis 3 Meilen entfernt ist, so ist ohne weiteres klar, dass Bordradar die Erfassung gerade derjenigen Vögel übernehmen könnte, die gefährlich sind. Man muss wohl davon ausgehen, dass ein solches System in erster Linie bei Tiefflügen mit hohen Geschwindigkeiten eingesetzt wird. Das System kann auch in anderen Flugphasen nützlich sein, und ein solcher Nutzen wäre dann ein zusätzlicher Gewinn. Die für die Erfassung der Vögel und für die Entscheidung, ob diese sich auf Kollisionskurs befinden, erforderliche Funktion der "Künstlichen Intelligenz" wird kein besonders großes technisches Problem sein. Die moderne Software-Technik ist bereits erheblich weiter entwickelt, als zur Vogelerfassung erforderlich ist.

Das vorg. System ist anpassungsfreundlich und könnte daher den Forderungen vieler verschiedener Nutzer entsprechen. Wahrscheinlich gehören zu seinen Eigenschaften durch die Besetzung wählbare Empfindlichkeitsstufen. Auf einem Display könnte dann z.B. ein Vogelbild erscheinen, das nach geringfügiger Kursänderung wieder verschwindet. Das System verfügt außerdem über hinreichende Speicherkapazität zur Registrierung der im Laufe des Einsatzes registrierten Vogelaktivitäten, was eine Auswertung von Vogeldaten ermöglicht. Eine weitere denkbare Anwendungsmöglichkeit des Systems *Vogel erkennen/Pilot informieren* ist die Bewertung anderer Maßnahmen (Blinklichter, Landescheinwerfer, spezielle Markierungen und Farbzeichen, usw.), von denen man annimmt, dass sie die Vögel beeinflussen und damit auf Vogelschlagrisiken einwirken. Vielfach wird behauptet, Landescheinwerfer könnten Vögel vertreiben; dem steht die Meinung gegenüber, dass Landescheinwerfer bestimmte Vogelarten zum Flugzeug hinlocken und gerade dadurch zu Vogelschlägen führen. Eine Möglichkeit, diese Widersprüchlichkeit zu beenden, wären entsprechende Versuche. Derlei wurden von der Deutschen Luftwaffe bereits in den siebziger Jahren durchgeführt, ohne dass sich die Effektivität von "Landescheinwerfern" hätte nachweisen lassen. Der nächste folgerichtige Schritt wäre es nun, ein System zu schaffen, das flugeinsatzfähig, operativ ist und auswertbare Daten liefert. Die größte Herausforderung dabei wäre wahrscheinlich nicht technischer Art, sondern ein finanzielles Problem.

- c) Ein drittes Konzept nutzt verschiedene Sensoren (Radar, IR o.ä.), dazu Computer-Software, mit der man Vögel erfassen und erkennen kann, ob Vögel in bestimmten Bereichen ein nennenswertes Risiko darstellen. So könnten dem Flughafenpersonal Hinweise gegeben werden, um entsprechende Maßnahmen

zur Reduzierung des Vogelschlagrisikos zu treffen. Dieses Konzept scheint vielversprechend und wird wahrscheinlich sogar wirksamer und gleichzeitig weniger kostenaufwendig sein. Eine restlose Realisierung scheitert z.Z. an finanziellen Problemen. Dennoch wurde ein Prototyp vorgeführt, mit dem Vögel durch Kameras im sichtbaren oder im IR-Bereich erfasst werden können, dazu ein Bewegungsanzeiger, der zwecks späterer Auswertung die Vogelaktivitäten mit einer Videokamera festhält und den Recorder abschaltet, sobald keine Aktivitäten mehr stattfinden. Dieser Prototyp vereint in sich viele der Eigenschaften, die man von einem nach vielen Forschungsjahren produzierten Prototyp erwartet.

Eine der gesamten Forschung zugrunde liegende sekundäre Zielstellung oder Philosophie besteht darin, dass Lösungen für Flugzeug **und** Vogel zum Nutzen sein müssen, und dass durch die Forschung und deren Ergebnisse weder für Vögel und Umwelt noch für den Menschen in irgendeiner Weise Schaden entsteht.

5. Technische Toleranzen

Ein Flugzeug sollte über so viel strukturelle Festigkeit verfügen, dass es die Aufprallenergie bei Vogelschlag ohne katastrophale Folgen auffangen kann. In den meisten Fällen führt nur einer von tausend Vogelschlägen zu einem solchen Verlust. Technische Toleranz bei Vogelschlag bedeutet, dass die getroffenen Bauteile eines Flugzeugs ohne Sicherheitsbeeinträchtigung die Energie bei der Beschleunigung von Teilen der Vogelmasse bis zu einem signifikanten Betrag der Flugzeuggeschwindigkeit absorbieren können.

Die Absorption der Aufprallenergie geschieht durch Deformation von Flugzeugbauteilen. Offenbar kann nicht die gesamte Vogelschlagenergie aufgefangen werden. Dann kommt es bei der Festlegung des Toleranzgrades zur Abwägung der Kosten, der Gewichtsoptimierung und der Ereigniswahrscheinlichkeit.

Die Diskussion endet meist bei dem für die einzelnen Frontalflächen tolerierbaren Schadensausmaß. Diese Schadensausmaße widerspiegeln die abnehmende Wahrscheinlichkeit zunehmender Vogelschlagenergie sowie auch die jeweiligen einsatzbedingten Auswirkungen der Schäden auf den Weiterflug.

Für einige wichtige Bauteile und Oberflächen heißt das: Konstruktion und Tauglichkeitstest müssen die Bedingung erfüllen, dass nach einem Vogelschlag (Vogelgewicht: 3,6 kg) der Flug fortgesetzt werden kann. Für die meisten Flugzeugfrontalflächen heißt es z.Z. Konstruktion und Tauglichkeitstest müssen einem Vogel-

gewicht von 1,8 kg genügen. Bei Triebwerken variieren die Erfordernisse, sind aber im Wesentlichen bestimmt durch die Größe der Ansaugöffnung und ein Vogelgewicht bis zu 3,6 kg sowie jeweils auch mehrere Vögel mit einem Gewicht von 0,7 kg bzw. 1,1 kg. Für die Zulassung richten sich die Kriterien bei jedem Teilsystem nach der jeweils "tolerierbaren" Schadensgrenze. Diese Kriterien für verschiedene Aufprallgewichte und Aufprallstellen sind: (1) *keine Auswirkung auf den Flug*, (2) *Weiterflug bei verringerter Geschwindigkeit für eine bestimmte zur Notlandung ausreichende Zeitdauer*, (3) *Akzeptanz des Vogelschlags als unvermeidliches Verlustereignis*.

Ein Vogelschlag ist dann ein irreparables Ereignis, wenn dessen Auswirkungen derart schwerwiegend sind, dass die Kosten, (d.h. Beschaffungskosten), und/oder Leistungsabstriche bei der Konstruktion eines Flugzeuges, das solche Ereignisse überstehen kann, unannehmbar wären. Kollisionen mit Schwärmen von Kanadagänsen könnten zu solch einem Totalverlust führen. Weder gibt es Triebwerke noch Flugzeugbauteile, die so konstruiert sind, dass sie Aufprallbelastungen mehrerer 5,4 kg Vögel überstehen. Was noch gravierender ist: kein Flugzeug mit zwei Triebwerken ist so konstruiert, dass es "überlebt", falls beide Triebwerke bei demselben Ereignis ausfallen. (Die Population der Kanadagänse nimmt z.Z. überall schnell zu!). Die Fluggeschwindigkeit, bei der diese Forderungen erfüllt sein müssen, ist im Allgemeinen an die antizipierten Geschwindigkeitsverhältnisse im Umfeld des Vogelschlags (Flughöhen 500 - 2000 ft GND) gekoppelt. Bei einigen Zivilflugzeugen werden zur Erreichung der technischen Toleranz die Zugeständnisse bei Gewicht und Kosten dadurch reduziert, dass man unterhalb einer bestimmten Geschwindigkeit bleibt, sobald sich das Flugzeug in einem extrem vogelschlaggefährdeten Höhenbereich befindet.

Computerprogramme zur Analyse der Bauteile stehen für die Konstruktion von Teilsystemen, die in der Lage sind, die Aufprallenergie aufzufangen, in zunehmendem Maße zur Verfügung. Die Anwendung solcher Programme hat wesentlich dazu beigetragen, den Umfang der bisherigen, kostenaufwendigen Arbeitsgänge "Konstruktion + Test + Korrektur" zu verkürzen. Während der Bedarf an Versuchseinrichtungen zur Unterstützung des empirischen Vorgehens zurückgegangen ist, werden sie immer noch für die Musterzulassung und für die Flugtauglichkeitstests benötigt. Sämtliche äußeren Bauteile mit einer frontal exponierten Fläche sind Vogelschlägen ausgesetzt. Man sollte eigentlich erwarten, dass diejenigen, die für solche Teilsysteme verantwortlich sind, auch sicherstellen müssen, dass die technischen Toleranzstandards für die Bauteile bei Vogelschlag hinreichend erfüllt oder sogar übertroffen werden. In vielen Fällen sind staatliche Stellen bei Zulassungstests beteiligt, fungieren aber in der Regel nur als Beobachter, statt die Tests anzuleiten oder selbst durchzuführen.

Der zu testende Gegenstand sollte für praktisch eingesetzte Bauelemente repräsentativ und wegen der Dynamik der beim Vogelschlag auftretenden Reaktion der Bauteile auf dem Prüfstand auch in einer für das Flugzeug geeigneten Weise montiert sein. Beim Test müssen Extrembedingungen des Umfeldes berücksichtigt werden, die für die beim wirklichen Vogelschlag zu erwartenden Bedingungen typisch sind. Deshalb sind auch die Aufprallstellen von Interesse, nämlich: (1) wo maximale Festigkeit erwartet wird; (2) wo maximale Verformung erwartet wird; (3) wo wichtige Festigkeitsstrukturen, Auslösemechanismen, elektrische Kabel, Kraftstoffleitungen, oder hydraulische Leitungen verborgen liegen oder irgendwie als sicher gelten, und schließlich (4), wo die durch Aufprallenergie erzeugten Kräfte die elektro-hydraulische Schalt- oder Auslösesysteme aktivieren oder unterbrechen können, die für den Weiterflug entscheidend sind. Unter entsprechenden Bedingungen kann man bei Tests mit künstlichen Vögeln realistische Aufprallbelastungen erreichen, zumal Bedenken des Tierschutzes hier berücksichtigt werden müssen. Außerdem lassen sich z.B. mit Haushühnern erzielte Testergebnisse nicht ohne weiteres auf Wildvögel übertragen.

Zu einer üblichen Vogelschlag-Testanlage gehören (1) ein Behälter für komprimierte Luft, (2) ein Druckauslassventil, (3) eine Kammer für den Führungskäfig zur Aufnahme des Aufprallprojektils (Vogel), (4) ein Rohr zur Lenkung des Projektils während der Beschleunigung durch die komprimierte Luft, (5) ein verengtes Rohrteil zum Abstreifen des Führungskäfigs vom Aufprallprojektil, (6) Instrumente für die Messung von Geschwindigkeit und Richtung des Projektils, (7) eine Vorrichtung für die Montage des Versuchsgegenstandes (Bauteil), und (8) ein Sperrsystem zum Auffangen der Restenergie. Bei gezielter Aufstellung und Synchronisierung bestimmter Kameras (Film und Video) sowie Verwendung computergestützter Film-Analyse kann durch Triangulation eine dreidimensionale Darstellung der Verformungen des Gegenstandes, der getroffen werden soll, hergestellt werden. Diese Darstellung kann mit der vorhergesagten Verformung verglichen werden. Unter bestimmten Bedingungen kann ein solcher Vergleich den Vorhersagemitteln Glaubwürdigkeit verleihen und erheblich zur Reduzierung der Tests beitragen.

In einigen Testanlagen mit rotierenden Zielkörpern (z.B. Strahltriebwerke) gehören zum automatisierten Abschussmechanismus zusätzliche Steuerungssysteme, mit denen gesichert werden soll, eine bestimmte Stelle zu treffen. Bei einer der Anlagen für rotierende Zielkörper z.B. ist die Abschussfolge derart präzise, dass Tests möglich sind, bei denen der Vogel zwischen zwei Fan-Schaufeln hindurchgeht und die Hinterkante der Fan-Schaufeln trifft.

Es gibt noch einen weiteren Testanlagentyp, bei dem raketentriebene Schlitten verwendet werden, die auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt werden können.

6. Literatur:

SPEELMAN, R.J. et al. (1998): Aircraft Birdstrikes: Preventing and Tolerating. Minutes IBSC 24/WP 31. Stara Lesna/Slovakia.

Anschrift der Verfasser:

R.J. Speelman III, M.E. Kelly, R.E. McCarty, J.J. Short
Wright-Patterson Air Force Base
Ohio/USA