

Vogelschlagschäden an Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerken in Beziehung zur Flugphase: Warum es auf die Geschwindigkeit ankommt

Bird damage to turbofan and turbojet engines in relation to phase of flight - why speed matters

von R. A. DOLBEER, Sandusky, USA

Zusammenfassung: Zwei Gründe für den zunehmenden Konflikt zwischen Luftverkehr und Vogelwelt sind die wachsenden Bestände von Vogelarten, die eine Gefährdung für die Luftfahrt darstellen, und das gestiegene Flugaufkommen von Flugzeugen mit leiseren Mantelstromtriebwerken. Ich habe die Umstände von weltweit 24 Totalschäden untersucht, an denen Transportflugzeuge (>5.700 kg maximale Startmasse) mit Mantelstrom- (18) oder Turbostrahltriebwerken (6) beteiligt waren und die auf Vogelschlagereignisse zurückgeführt wurden. In 17 der 18 Ereignisse (94%), an denen Flugzeuge mit Mantelstromtriebwerken beteiligt waren, befand sich die Maschine hinsichtlich der Flugphase im Startlauf oder in der Anfangssteigflughöhe (<100 ft über Grund, nachfolgend als „Start“ bezeichnet), als der Vogelschlag eintrat. In wenigstens 14 (vermutlich sogar 16) der 17 Fälle mit Totalschaden beim Start gerieten Vögel in eins oder mehrere der Triebwerke. Bei den Vorkommnissen mit turbostrahlgetriebenen Flugzeugen kam es bei allen sechs Startvorfällen zu diesem Einsaugeffekt. Um ein Bild davon zu erhalten, warum sich praktisch alle Totalschäden während des Starts ereigneten, habe ich für den Zeitraum 1990-2006 alle in der *USA National Wildlife Strike Database* registrierten Vogelschläge mit mantelstrom- (n = 40,286) und turbostrahlgetriebenen (n = 328) Zivilmaschinen untersucht. Bei den Flugzeugen mit Mantelstromtriebwerken war die Zahl der Vogelschläge während Anflug und Landelauf („Landung“) ungefähr anderthalbmal so hoch wie beim Start. Jedoch lag die Anzahl der Vogelschlagfälle, bei denen ein Einsaugen in die Triebwerke stattfand, beim Start 1,5-mal so hoch wie bei der Landung, und ebenso traten bei diesem Vergleich schwere Triebwerksschäden 3,4-mal öfter auf. Im Falle der 328 Vogelschlagereignisse mit turbostrahlgetriebenen Flugzeugen waren die Ergebnisse sogar noch deutlicher. Ein Faktor, der diese Unterschiede bei den Einsaug- und Schadensraten möglicherweise erklärt, ist die beim Start im Vergleich zur Landung höhere Rotationsgeschwindigkeit von Ventilatorflügeln und Verdichterlaufschaukeln

(z. B. 1,7 bis 3,2-mal schneller in Stufe N1 und 1,2 bis 1,9-mal schneller in Stufe N2 bei einer Stichprobe mit sechs Mantelstromtriebwerken). Die sich während des Starts im Vergleich zur Landung schneller drehenden Ventilatorflügel ergeben eine 2,8- bis 10,1fache kinetische Energie, die bei einem Vogelschlag abgeführt werden muss. Die Gründe dafür, dass Totalschäden überwiegend nach Vogelschlägen in der Startphase von Flügen auftraten, liegen wohl einerseits in der höheren Wahrscheinlichkeit, dass eher beim Start als bei der Landung Tiere in die Triebwerke eingesogen werden und schwere Schäden an Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerken entstehen, und andererseits an den zahlreichen Anforderungen, denen die Flugbesatzung im Umgang mit einem beim Start ausgefallenen oder beschädigten Triebwerk gerecht werden muss. Flughäfen sollten darauf eingestellt sein, zuvor ungenutzte Start- und Landebahnen vor dem Start von Flugzeugen zu inspizieren und Vögel zu vertreiben. In gleicher Weise sollten Piloten, die vor Abflug auf der Startbahn Vögel bemerken, die Flugsicherung benachrichtigen und nicht starten, bevor die Vögel vertrieben sind. Schließlich sollte weitergeforscht werden, mit welchen Methoden die Fähigkeit von Vögeln verbessert werden kann, Luftfahrzeuge zu erkennen und ihnen auszuweichen.

Summary: Expanding populations of birds hazardous to aviation and increased air traffic by quieter, turbofan-powered aircraft are two reasons for the growing conflict between aviation and birds. I examined the circumstances of 24 hull losses worldwide involving turbofan- (18) or turbojet- (6) powered transport aircraft (>5,700 kg maximum take-off mass) that were attributed to bird strikes. In 17 of the 18 turbofan-jet incidents (94%), the aircraft was in the take-off run or initial climb (<100 feet AGL) phase of flight (hereafter referred to as departure) when the bird strike occurred. Birds were ingested into one or more engines in at least 14 (and likely 16) of the 17 hull-loss incidents during departure. All six incidents involving turbojet aircraft involved engine ingestions during departure. To gain insight into why virtually all these hull losses occurred during departure, I examined all reported bird strikes involving turbofan- (n = 40,286) and turbojet- (n = 328) powered civil aircraft in the USA National Wildlife Strike Database, 1990-2006. For turbofan-powered aircraft, about 1.5 times more strikes occurred during approach and landing roll (arrival) compared to departure. However, 1.5 times more bird strikes involved engine ingestions and 3.4 times more strikes resulted in substantial engine damage during departure than during arrival. Results were even more pronounced for the 328 strikes involving turbojet-powered aircraft. One factor that may explain these differences in ingestion and damage rates is the faster rotation speed of fan and compressor blades during departure compared to arrival (e.g., 1.7 to 3.2 times faster for N1 stage and 1.2 to 1.9 times faster for N2 stage in a sample of six turbofan engines). The faster rotating fan blades during departure compared to arrival result 2.8 to 10.1 times the kinetic energy which must be dissipated during a bird

strike. The greater likelihood of engine ingestions and substantial damage to turbofan and turbojet engines during departure compared to arrival, combined with the multiple challenges a flight crew faces in dealing with a failed or compromised engine during departure, likely explain the preponderance of hull losses following bird strikes in the departure phases of flight. Airports should have procedures in place to inspect runways that have been idle and disperse birds before aircraft depart. Likewise, pilots observing birds on the runway before departure should notify Air Traffic Control and avoid taking off until the birds have been dispersed. Finally, research should continue in methods to enhance the ability of birds to detect and avoid aircraft.

1. Einleitung

Von Beschäftigten und Kennern der zivilen und militärischen Luftfahrt wird weitgehend anerkannt, dass die wirtschaftlichen Schäden und Risiken für die Sicherheit von Menschen, die aus dem Zusammenstoß von Luftfahrzeugen mit Vögeln (Vogelschlag) resultieren, weltweit im Steigen begriffen sind (MACKINNON et al. 2001, DOLBEER 2006a). Ein Faktor, der zu dieser wachsenden Gefahr beiträgt, besteht darin, dass sich viele für den Luftverkehr gefährliche Vogelarten in den letzten Jahrzehnten merklich vermehrt haben. So nahm beispielsweise der Bestand der Kanadagans als Standvogel von 1990 bis 2005 im Mittel um 7,9% im Jahr zu (SAUER et al. 2006). Andere große Arten mit signifikanten Zuwachsraten waren Rotschwanzbussard (1,9%), Truthuhn (12,7%); Truthahngerier (2,2%), Ohrenschärpe (4,9%) und Kanadakranich (4,3%). Bei dreizehn von 14 nordamerikanischen Vogelarten mit einer durchschnittlichen Körpermasse von mehr als 8 lbs hat sich der Bestand über die vergangenen drei Jahrzehnte hinweg beträchtlich erhöht (DOLBEER & ESCHENFELDER 2003). Auch in Europa (BUURMA 1996) und anderswo sind die Bestände größerer Vogelarten gestiegen.

Als weiterer Faktor kommt hinzu, dass zivile Luftfahrtgesellschaften ihre Flotten mit drei- oder viermotorigen Maschinen durch wirtschaftlichere und leisere Flugzeuge mit zwei Mantelstromtriebwerken ersetzen (CLEARY & DOLBEER 2005). Auch die meisten Firmenflugzeuge werden von zwei Mantelstromtriebwerken angetrieben. Diese Verminderung nicht benötigter Triebwerke bewirkt einen Anstieg der Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, bei denen schwarmbildende Vögel in sämtliche (d. h. beide) Triebwerke eines Flugzeugs eingesogen werden. Frühere Forschungsergebnisse haben zudem ergeben, dass Vögel Flugzeuge mit leisere Mantelstromtriebwerken weniger gut erkennen und ihnen ausweichen können (Kap. 3, Internationale Organisation für Zivilluftfahrt 1993) als ältere Flugzeuge mit lauterer (Kap. 2) Turbostrahl- und Mantelstromtriebwerken (BURGER 1983, KELLY et al. 2001).

Angesichts der Dominanz von Mantelstromtriebwerken in den heutigen Transportflugzeugen war es mein Ziel, die Charakteristika von Vogelschlägen im Zusammentreffen mit Maschinen dieses Antriebstyps zu untersuchen. Zwecks weitergehender Aufschlüsse habe ich mich ebenso mit Charakteristika von Vogelschlägen bei Zusammenstößen mit älteren turbostrahlgetriebenen Zivilflugzeugen befasst. Als Erstes habe ich die Umstände (Flugphase und betroffene Flugzeugpartien) aller bekannten Fälle untersucht, bei denen Transportmaschinen mit Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerken (>5.700 kg maximales Startgewicht) Totalschäden infolge Vogelschlags erlitten. Daneben richteten sich meine Untersuchungen auf die Umstände aller gemeldeten Vogelschläge unter Beteiligung von Zivilflugzeugen mit Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerken in den USA in den Jahren 1990 bis 2006, bei denen schwere Triebwerksschäden entstanden. Ziel ist es, ein klareres Bild darüber zu erhalten, in welchen Situationen Vogelschläge Schäden an Mantelstromtriebwerken verursachen, um Verfahrensempfehlungen zur Verminderung der Wahrscheinlichkeit dieser Gefahrenereignisse entwickeln zu können (d. h. Risikominimierung).

2. Methode

Zur Erstellung einer Liste aller bekannten Fälle, bei denen Transportflugzeuge (Fracht-, Passagier- und Geschäftsflugzeuge mit einem maximalen Startgewicht >5.700 kg) mit Mantelstrom- oder Turbostrahltriebwerken als Folge eines Vogelschlags zerstört wurden (Totalschäden), habe ich mich auf Material von THORPE (2003, 2005), RICHARDSON & WEST (2000), CLEARY et al. (2007) und andere Quellen (Anlagen A und B) gestützt. Bei allen Vorfällen habe ich die Flugphase, in der der Vogelschlag auftrat sowie die durch ihn betroffenen Flugzeugpartien untersucht. Bezüglich der Flugphase galt mein besonderes Interesse einem Vergleich von Start- und Landephase. „Start“ bestand aus den beiden Komponenten Startlauf (0 Meter über Grund vom Losrollen bis zum Abheben) und Steigflug, „Landung“ umfasste Endanflug und Landelauf (vom Aufsetzen der Räder bis zum Halt oder Ausrollen). Hinsichtlich der betroffenen Flugzeugpartien lag mein besonderes Interesse auf der Frage, ob Vögel in eins oder mehrere der Triebwerke eingesogen wurden.

Zur Analyse aller gemeldeten Vogelschlagereignisse in den USA im Zeitraum 1990 bis 2006, die Zivilflugzeuge mit Mantelstrom- oder Turbostrahltriebwerken betrafen, habe ich die *National Wildlife Strike Database* (CLEARY et al. 2007) der *U.S. Federal Aviation Administration* (FAA) benutzt. Für jeden Schadensbericht wurde von mir Folgendes untersucht: Flugphase zum Zeitpunkt des Vogelschlags, potenzielles Einsaugen von Vögeln in Triebwerke, Anzahl derartiger Einsaugeffekte mit schweren Schäden an einem Triebwerk oder mehreren. Unter „schweren Schäden“ versteht man Schäden oder struktu-

relle Ausfälle, die die Festigkeit des Aufbaus, die Leistung oder Flugcharakteristika beeinträchtigen und im Normalfall größere Reparaturarbeiten oder den Austausch der betroffenen Komponente erfordern würden. (Internationale Organisation für Zivilluftfahrt 1989).

3. Ergebnisse

3.1. Totalschäden durch Vogelschlag bei Transportflugzeugen im weltweiten Maßstab

Auf globaler Ebene sind von mir für den Zeitraum von 1968 bis 2005 24 Totalschäden von Zivillflugzeugen mit Mantelstrom- (18) oder Turbostrahltriebwerken (6) dokumentiert worden, die auf Vogelschläge zurückgeführt wurden (Anlagen A, B).

Tabelle 1: Flugphase zum Zeitpunkt des Vogelschlags mit nachfolgendem Totalschaden für alle bekannten Vorfälle mit Beteiligung von mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Transportflugzeugen 1968-2005 (>5.700 kg maximales Startgewicht), Zu Einzelheiten jedes Vogelschlagereignisses s. Anlagen A u. B.

Flugphase	Mantelstromgetriebene Flugzeuge		Turbostrahlgetriebene Flugzeuge		Turbinengetriebene Flugzeuge ges.	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Start (Startlauf u. Steigflug)	17	94	6	100	23 ¹	96
Streckenflug	1	6	0	0	1 ²	4
Landung (Anflug u. Landelauf)	0	0	0	0	0	0
Summe	18	100	6	100	24	100

In 17 der 18 Zwischenfälle (94%) mit mantelstromgetriebenen Maschinen befand sich das Flugzeug zum Zeitpunkt des Vogelschlags (Tab. 1) in der Startphase des Fluges (0 bis 100 ft über Grund). In zumindest 14 der 17 Totalschadenfälle gerieten Vögel beim Start in eines oder mehrere der Triebwerke (in 2 Fällen wird die betroffene Partie nicht erwähnt, doch ist es wahrscheinlich, dass

¹ In 20 der 23 Ereignisse während des Starts wurden aufgrund des Umstands, dass Vögel in die Triebwerke gerieten, eins oder mehrere der Triebwerke beschädigt. In 2 Fällen war unklar, ob ein Einsaugen von Vögeln in die Triebwerke stattgefunden hatte; in 1 Fall wurde das Fahrgestell getroffen

² Bei dem Vorfall im Streckenflug wurde das Radom von einem Vogel getroffen.

ein Einsaugen in Triebwerke stattgefunden hat). Bei allen sechs Vorkommnissen mit Beteiligung von turbostrahlgetriebenen Flugzeugen trat dieses Einsaugphänomen in der Startphase auf. Bei mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Flugzeugen zusammengenommen wurden 23 der 24 (96%) Ereignisse in der Startphase des Fluges verzeichnet, und ein Einsaugen von Vögeln in eines oder mehrere der Triebwerke erfolgte dabei in mindestens 20 (vermutlich 22) der 23 Fälle.

3.2. Vogelschläge mit schweren Triebwerksschäden bei Zivilflugzeugen, USA, 1990-2006

3.2.1. Mantelstromtriebwerke

Im Zeitraum 1990 bis 2006 wurden in den USA 40.286 Vogelschlagereignisse mit mantelstromgetriebenen Zivilflugzeugen gemeldet, von denen 38.437 (95%) bei der Start- oder Landephase des Fluges auftraten. (Tab. 2). Bei Vogelschlägen auf Höhe 0 Meter über Grund lag die Anzahl der gemeldeten Vorfälle während des Startlaufs bei Abflug (7.995) geringfügig höher als während des Landelaufs bei Ankunft (6.652). Die Zahl der Fälle, bei denen Tiere in die Triebwerke gerieten sowie die Zahl von schweren Triebwerksschäden waren allerdings beim Startlauf jeweils 2,3- bzw. 7,7fach höher als beim Landelauf.

Tabelle 2: Gesamtzahl gemeldeter Vogelschläge bei mantelstromgetriebenen zivilen Flugzeugen und Anzahl und Prozentsatz von Vogelschlägen mit daraus resultierenden schweren Triebwerksschäden infolge Einsaugens von Vögeln in Triebwerke (nach Flugphase), USA, 1990-2006

Flugphase	Gemeldete VS ges.	VS mit Einsaugen von Vögeln in Triebwerke	%	VS mit schweren Triebwerksschäden	%
Start	15.377	1.938	12,6	916	6,0
Startlauf	7.995	980	12,3	449	5,6
Steigflug	7.382	958	13,0	467	6,3
Streckenflug	383	37	9,7	7	1,8
Sinkflug	1.466	78	5,3	18	1,2
Landung	23.060	1.327	5,8	270	1,2
Anflug	16.408	905	5,5	212	1,3
Landelauf	6.652	422	6,3	58	0,9
Summe	40.286	3.380	8,4	1.211	3,0

Für die Steigflugphase bei Abflug (7.382) wurden im Vergleich zur Anflugphase bei Ankunft (16.408) weniger als die Hälfte der Vogelschläge gemeldet. Die Zahl der Fälle, bei denen Vögel in die Triebwerke gerieten, unterschied sich

dagegen bei beiden Phasen kaum; die Frequenz von schweren Triebwerksschäden war beim Steigflug 2,2-mal höher als beim Landeanflug (Tab. 2).

Insgesamt hatten die für die Startphase gemeldeten Vogelschläge eine Häufigkeit von lediglich etwa zwei Dritteln (Startlauf und Steigflug zusammengefasst 15.377) der in der Landephase erfolgten (Anflug und Landelauf zusammengefasst 23.060). Die Anzahl der Vogelschlagereignisse, bei denen Tiere in die Triebwerke gesogen wurden, betrug dabei jedoch das 1,5fache, was bedeutete, dass die Wahrscheinlichkeit des Einsaugens von Vögeln bei einer Kollision mit einem Flugzeug beim Start sich auf das 2,2fache des Risikos bei der Landung belief (d. h. beim Start trat ein Einsaugen in 12,6% der Vogelschlagfälle auf, verglichen mit 5,7% bei der Landung). Als ein noch wichtigerer Aspekt zeigte sich, dass schwere Triebwerksschäden als Folge von Vogelschlag beim Start 3,4-mal häufiger waren (916) als bei der Landung (270) (Tab. 2). Durch Vogelschlag verursachte schwere Triebwerksschäden waren somit beim Start fünfmal wahrscheinlicher als bei der Landung (d. h., 6,0% vogelschlagbedingte Triebwerksschäden beim Start gegenüber 1,2% bei der Landung).

Tabelle 3: Gesamtzahl gemeldeter Vogelschläge bei zwei-, drei- und viermotorigen mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen zivilen Flugzeugen mit Einsaugen von Vögeln/Beschädigung in/von zwei Turbinen und schwerem Schaden an wenigstens einem Triebwerk (nach Flugphase), USA, 1990-2006

Flugphase	Anzahl der Vogelschläge mit Beschädigung von 2 Triebwerken (darunter zumindest ein schwerer Schaden)				
	Maschine mit			Turbostrahl- Antrieb zweimotorig	Summe
	Mantelstromantrieb				
	zweimotorig	dreimotorig	viermotorig		
Start	33	4	4	3	44
Startlauf	14	2	1	0	17
Steigflug	19	2	3	3	27
Streckenflug	0	0	0	0	0
Sinkflug	0	0	0	0	0
Landung	10	1	2	1	14
Anflug	9	0	2	0	11
Landelauf	9	1	0	1	3
Summe	43	5	6	4	58

Bei mantelstromgetriebenen Zivilflugzeugen kam es in den USA in den Jahren 1990-2006 in lediglich 1 von 916 Vogelschlagfällen mit schweren Triebwerksschäden beim Start (und in keinem der 270 Fälle bei der Landung) zum Totalschaden (1. Sept. 2005 in Anlage A). Mindestens 41 der 916 Vogelschlagvorkommnisse mit schweren Triebwerksschäden (einschließlich des Totalscha-

dens) beim Start waren mit dem Einsaugen von Tieren in die Triebwerke und Schäden an zwei Triebwerken verbunden (Tab. 3). Bei 13 der 270 Vogelschlagfälle mit schweren Triebwerksschäden bei der Landung waren zwei Triebwerke betroffen.

3.2.2. Turbostrahltriebwerke

Bei den turbostrahlgetriebenen Flugzeugen waren die Unterschiede hinsichtlich der Folgen der Vogelschläge zwischen Start und Landung noch ausgeprägter (Tab. 4). Ähnlich wie bei den Flugzeugen mit Mantelstromtriebwerken ereigneten sich ca. 95% (313) der 328 gemeldeten Vogelschläge in der Start- oder Landephase, wobei diese 313 Vorkommnisse beinahe gleichmäßig auf Start (155) und Landung verteilt waren (158). Allerdings war zu beobachten, dass bei diesen durch Vögel ausgelösten Zwischenfällen in der Startphase 3,7-mal öfter Vögel in die Triebwerke gerieten und 5,8-mal mehr schwere Triebwerksschäden auftraten als bei der Landung. Bei den turbostrahlgetriebenen Zivilflugzeugen endete im Zeitraum 1990 bis 2006 in den USA nur 1 der 29 Vogelschlagfälle, bei denen es beim Start zu schweren Triebwerksschäden kam, mit Totalschaden (12. Nov. 2003, Anlage B); ein derartiger Schaden war bei keinem der 5 in der Landephase stattgefundenen Ereignisse zu verzeichnen. Von den 29 beim Start aufgetretenen Vogelschlägen mit schweren Triebwerksschäden handelte es sich zumindest bei dreien (einschließlich des Totalschadens) um Fälle, bei denen Vögel in die Triebwerke eingesaugt und zwei Triebwerke beschädigt wurden (Tab. 4). Beschädigungen von zwei Triebwerken waren bei der Landung in einem von 5 Vogelschlagfällen mit schweren Triebwerksschäden gegeben.

Tabelle 4: Gesamtzahl gemeldeter Vogelschläge bei turbostrahlgetriebenen zivilen Flugzeugen und Anzahl und Prozentsatz von Vogelschlägen mit daraus resultierenden schweren Triebwerksschäden infolge Einsaugens von Vögeln in Triebwerke (nach Flugphase), USA, 1990-2006

Flugphase	Gemeldete VS ges.	VS mit Einsaugen von Vögeln in Triebwerke	%	VS mit schweren Triebwerksschäden	%
Start	155	44	28,4	29	18,7
Startlauf	88	19	21,6	12	13,6
Steigflug	67	25	37,3	17	25,4
Streckenflug	6	3	50,0	0	0,0
Sinkflug	9	2	22,2	2	22,2
Landung	158	12	7,6	5	3,2
Anflug	91	10	11,0	3	3,3
Landelauf	67	2	3,0	2	3,0
Summe	328	61	18,6	36	11,0

4. Diskussion

DOLBEER (2006b) hat zu einem früheren Zeitpunkt dokumentiert, dass sich über 95% der Vogelschläge bei zivilen Flugzeugen (aller Typen) in den USA während der Start- und Landephase unterhalb 3.500 ft über Grund ereigneten. In ähnlicher Weise hat die vorliegende Studie aufgezeigt, dass ca. 95% der Vogelschlagfälle mit mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Maschinen in den USA in der Start- und Landephase auftraten. Von entscheidender Wichtigkeit ist die Erkenntnis aus dieser Studie, dass sich weltweit 96% der vogelschlagbedingten Totalschäden von mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Transportflugzeugen während der Startphase (<500 ft über Grund) ereigneten. Eine Analyse der Fälle, bei denen Vögel eingesaugt wurden, und der entstandenen Schäden an Zivilflugzeugen mit Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerken, bezogen auf die Jahre 1990 bis 2006 in den USA, hat Aufschlüsse darüber geliefert, weshalb die Startphase beim Flug so kritisch ist. Diese Analyse erbrachte, dass das Risiko schwerer Triebwerksschäden infolge Vogelschlags beim Flugstart mindestens fünfmal höherer als bei der Landephase war. Die im Ergebnis höheren Schadensraten beim Start als bei der Landung unter Verwendung von Daten für die Jahre 1990 bis 2006 deckt sich mit den Befunden von Untersuchungen von Vogelschlägen gegen Mantelstromtriebwerke in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts (BANILOWER & GOODALL 1995, HOVEY et al. 1991, FRINGS 1984, MARTINO et al. 1990).

Der Befund, dass Vogelschläge (an allen Partien des Flugzeugs) häufiger bei der Landung als beim Start auftraten, lässt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit dadurch erklären, dass sich Flugzeuge in aller Regel in der Anflughöhe längere Zeit unter 3.500 ft über Grund befinden als während des Steigflugs. Meine Erkenntnis dazu war aber auch, dass die Zahl der gemeldeten Fälle, bei denen Vögel in die Triebwerke gerieten, für die Startphase höher war. Auch HOVEY et al. (1991) & FRINGS (1984) berichteten von einem häufigeren Einsaugen von Vögeln während der Start- als während der Landephase. Im Gegensatz dazu waren die Einsaugraten nach Angaben von BANILOWER & GOODALL (1995) und MARTINO et al. (1990) für Start- und Landephase gleich. Um zu entscheiden, ob eine höhere Wahrscheinlichkeit für ein Einsaugen von Vögeln in der Start- als in der Landephase eines Fluges besteht, bedarf es weiterer Untersuchungen.

Ein Faktor, mit dem die Unterschiede in der Zahl der Schadensraten womöglich zu erklären sind, ist die höhere Rotationsgeschwindigkeit der Mantelstrom- und Turbostrahltriebwerke beim Start im Vergleich zur Landung (z. B. 1,7 bis 3,2-mal schneller in Stufe N1 und 1,2 bis 1,9-mal schneller in Stufe N2 bei einer Stichprobe von 6 Mantelstromturbinen (D. Zabawa, Pratt & Whitney UTC, Personnel Communication). Dieses schnellere Drehen der Turbinen-

schaufeln ergibt eine um das 2,8- bis 10,1fach (im Mittel 5,2fach) erhöhte kinetische Energie in den N1-Ventilator- und -Verdichterlaufschaukeln, die während eines Vogelschlags abgeleitet werden muss. So werden beispielsweise im Falle des in der Boeing 757 eingesetzten Mantelstromtriebwerks PW2040 in der N1-Rotorstufe (inkl. Ventilatorschaukeln) beim Start und Anfangssteigflug ca. 4.170 U/min erreicht gegenüber 1.365 U/min bei Anflug und Landung. Während eine Ventilator- oder N1-Verdichterlaufschaukel mit einer Umdrehungsrate von 4.170 U/min die 3,1fache Geschwindigkeit (v) einer Laufschaukel bei 1.365 U/min hat, so hat sie die 9,3fache kinetische Energie ($e = \frac{1}{2} \text{Masse} \cdot v^2$). Wird ein Vogel beim Start von einer Ventilatorschaukel getroffen, so besteht eine größere Wahrscheinlichkeit, dass die hierdurch ausgelösten Kräfte zu schweren Turbinenschäden führen, als dies bei der Landung der Fall ist.

Lediglich zwei der insgesamt 945 von 1990 bis 2006 in den USA registrierten Zwischenfälle mit mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Maschinen, bei denen es zu schweren Triebwerksschäden nach einem Vogelschlag in der Startphase des Fluges kam, zogen Totalschäden nach sich. Bei den in der Landephase aufgetretenen 275 Zwischenfällen mit schweren Triebwerksschäden waren keine Totalschäden zu verzeichnen. In mindestens 58 (4,8%) dieser 1.220 Zwischenfälle mit schweren Triebwerksschäden bei Start oder Landung wurden zwei Turbinen beschädigt; 47 dieser 58 Ereignisse betrafen zweimotorige Flugzeuge. Diese statistischen Daten belegen sowohl die Robustheit von Turbinentriebwerken als auch die Fähigkeit moderner Flugzeuge mit geringerer als voller Kraft zu fliegen und schließlich den hohen Ausbildungsstand und die Expertise der Flugbesatzungen.

Obwohl die Anzahl der Totalschäden von mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Flugzeugen in den USA seit 1990 geringfügig gewesen ist, so haben doch einige Fälle, in denen Vögel beim Start in die Triebwerke gerieten, brisante Situationen heraufbeschworen, bei denen Treibstoff abgelassen und Notlandungen durchgeführt werden mussten. CLEARY et al. (2005) beispielsweise dokumentierten für den Zeitraum von 1990 bis 2004 31 Vorfälle mit mantelstromgetriebenen, zivilen Verkehrsmaschinen in den USA, die ein Ablassen von Treibstoff und Notlandungen erforderlich machten, nachdem beim Start Vögel in eins oder mehrere der Triebwerke eingesaugt worden waren. Am gefährlichsten sind Kollisionen mit Vogelschwärmen, bei denen Tiere in mehrere Triebwerke hineingezogen werden. Von 1990 bis 2006 wurden der FAA (CLEARY et al. 2007) 11.482 Vogelschläge bei Zivilflugzeugen unter Beteiligung von Vogelansammlungen (16 % von insgesamt 71.670 Vogelschlagfällen) gemeldet. Kritischer ist dabei jedoch, dass bei ca. 34 % aller gemeldeten Vogelschläge mit Tieren von mehr als 4 lbs Gewicht Vogelansammlungen beteiligt waren (DOLBEER & ESCHENFELDER 2003). Die Luftfahrtindustrie kann es sich daher nicht erlauben, die Hände in den Schoß zu legen, insbesondere da

die Populationen dieser größeren, schwarmbildenden Arten weiter anwachsen und sich an die Umgebung von Flughäfen anpassen (DOLBEER & ESCHENFELDER 2003). Die Bemühungen müssen darauf gerichtet sein, Vögel, die eine dahingehende Gefahr darstellen, aufzuspüren und aus dem Umfeld des Flughafens zu vertreiben; dies gilt speziell im Hinblick auf startende Flugzeuge, bei denen das Risiko schwerer Triebwerksschäden und eines Totalschadens am größten ist.

5. Schlussfolgerungen und Konsequenzen

Die Gründe für den Umstand, dass 23 von 24 durch Vögel verursachte Totalschäden von mantelstrom- und turbostrahlgetriebenen Verkehrsmaschinen sich nach Vogelschlägen in der Startphase des Fluges ereigneten, sind vermutlich drei synergetische Faktoren. Erstens ist es möglich, dass durch die hohe Rotationsgeschwindigkeit der Ventilator- und -Verdichterlaufschauflern beim Abflug – anders als bei der Landung – die Wahrscheinlichkeit steigt, dass Vögel in der Nähe der Triebwerke eingesaugt werden (Risiko auf Basis der oben angegebenen empirischen Daten etwa 2,2fach erhöht).

Deutlich erhöht (etwa 3,4fach auf Basis der oben angegebenen empirischen Daten) wird die Wahrscheinlichkeit schwerer Schäden im Anschluss an ein Einsaugen von Vögeln zweitens durch den 2,8- bis 10,1fachen Anstieg an kinetischer Energie der Ventilatorschauflern (sowie den noch größeren Anstieg an kinetischer Energie bei den N2-Verdichterlaufschauflern). Und schließlich haben Flugbesatzungen gewöhnlich im Falle des Ausfalls oder der Beschädigung von Triebwerken eher beim Start als bei der Landung die größere Zahl von Aufgaben und Entscheidungen zu bewältigen.

Die Erkenntnisse aus dieser Studie bestärken die Ergebnisse zahlreicher früherer Untersuchungen (DOLBEER et al. 2000), dass man sich nämlich in dem Bemühen, Risiken für die Luftfahrt durch Vögel oder andere wild lebende Tiere einzugrenzen, auf die Umgebung von Flughäfen konzentrieren sollte. CLEARY & DOLBEER (2005) und Transport Canada (2002) geben detaillierte Anleitungen hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung von Programmen (in FAA-Regularien *Wildlife Hazard Management Plans [WHMP]* benannt) zur Minimierung des Risikos von Vogelschlägen mit einer Gefährdung darstellenden Vögeln und anderen wild lebenden Tieren an Flughäfen. In *Wildlife Hazard Management Plans* wird meist die Beseitigung von für Tiere attraktiven Lebensräumen und Nahrungsquellen propagiert; weiterhin werden Techniken beschrieben, mit denen wild lebende Tiere, die eine Gefährdung darstellen, separiert, vertrieben oder entfernt werden sollen; schließlich wird die Bildung einer *Airport Wildlife Hazard Working Group* angeregt, die die Flughafengemein-

schaft über Vogelschlagrisiken aufklärt und Maßnahmen zur Überwachung von Tieren beobachtet und koordiniert. Da der Umgang mit einer Gefährdung darstellenden Tieren ein komplexes Unterfangen ist, bei dem viele Bundes- wie einzelstaatliche Gesetze eine Rolle spielen, bedarf es zur Entwicklung und Überwachung von WHMPs professioneller Biologen mit Ausbildung im Bereich *Wildlife Damage Management*.

Nach den Erkenntnissen dieser Studie sollte der WHMP eines Flughafens als einen entscheidenden Bestandteil Verfahren zur obligaten Inspizierung von Start- und Landebahnen, die vorher unbenutzt waren, sowie zur Vertreibung aller Vögel vor dem Start eines Flugzeugs beinhalten. Das *International Birdstrike Committee* hat unlängst eine Reihe von Richtlinien mit dem Titel „Best Practices for Aerodrome Bird/Wildlife Control“ („Die besten Methoden zur Überwachung von Vögeln und wild lebenden Tieren auf Flughäfen“) eingeführt, in denen diese Frage angesprochen wird (*International Birdstrike Committee* 2006). Richtlinie 3 besagt, dass „ein angemessen ausgebildeter und ausgestatteter Kontrolleur für Vogel- und Wildtieraktivitäten für zumindest 15 Minuten vor jedem Start bzw. jeder Landung eines Flugzeugs auf dem Flugfeld anwesend sein sollte dem Kontrolleur sollten in dieser Zeit keine anderen Aufgaben außer der Vogelüberwachung obliegen.“

In gleicher Weise sollten Piloten, die vor dem Abflug Vögel auf der Startbahn bemerken, die Flugsicherung (FS) verständigen und mit dem Start warten, bis die Tiere vertrieben sind. Gleichzeitig sollten FS-Mitarbeiter, denen auf oder neben einer Startbahn Vögel auffallen, die zu einer Gefahr werden könnten, den mit den Startvorbereitungen beschäftigten Piloten sowie *Airport Operations* informieren, damit die Vögel vertrieben werden können. In den USA ist das FS-Personal gehalten „Beratungsinformationen herauszugeben über von Pilotenseite gemeldete, vom Tower ausgemachte oder mittels Radar festgestellte und von Pilotenseite bestätigte Aktivität von Vögeln.“ (*Federal Aviation Administration* 2006). Dies kennzeichnet beispielhaft die Themen, die in der *Wildlife Hazard Working Group* eines Flughafens erörtert werden können; damit können die FS, gewerbliche Fluggesellschaften sowie die Gruppe der Piloten über Vogelschlagrisiken aufgeklärt werden, und es können Verfahren zur Minimierung der Wahrscheinlichkeit von Flugzeugstarts entwickelt werden, wenn Schwärme von den Luftverkehr gefährdenden Vögeln sich auf der Startbahn befinden oder diese queren. Im Zuge dieser Bemühungen kann auch der Gebrauch von Radar zum Aufspüren von Vögeln (BLOKPOEL & MACKINNON 2001) von Nutzen sein.

Zwei abschließende Bemerkungen zu Forschungs- und Ausbildungserfordernissen: Erstens sind größere Forschungsanstrengungen nötig hinsichtlich der Methoden, mit denen die Fähigkeit von Vögeln verbessert werden kann, man-

telstromgetriebene Flugzeuge – speziell während des Starts (BLACKWELL & BERNHARDT 2004) – zu erkennen und ihnen auszuweichen. Zweitens sollte die Ausbildung von Flugbesatzungen – angesichts der zunehmenden Populationen von großen, schwarmbildenden Vögeln an Flughäfen – Reaktionsszenarien enthalten für den Fall des Einsaugens von Vögeln in eins oder mehrere der Triebwerke in den Flugphasen Startlauf und Anfangssteigflug.

6. Danksagungen

Mein Dank für Rat und Unterstützung geht an Captain P. Eschenfelder, Avion Corp.; K. Horton und B. MacKinnon, Transport Canada; D. Zabawa und R. Parker, Pratt & Whitney UTC; E. Cleary, FAA; S. Wright, U.S. Department of Agriculture (US-Landwirtschaftsministerium). Die in dieser Untersuchung benutzte *Wildlife Strike Database* wurde von folgender Seite unterstützt: U.S. FAA (Federal Aviation Administration), William Hughes Technical Center, Atlantic City, New Jersey, sowie Airport Safety and Operations Division, Washington, D.C. gemäß Vereinbarung DFTACT-03-X-90031 mit dem U.S. Department of Agriculture. Die in dieser Studie vertretenen Auffassungen stimmen nicht notwendigerweise mit aktuellen FAA-Grundsatzentscheidungen oder Positionen anderer Stellen und Firmen bezüglich der Überwachung wild lebender Tiere auf oder an Flughäfen sowie der Gestaltung und Leistung von Flugzeugtriebwerken überein.

Literatur

BANILOWER, H. & C. GOODALL (1995): Bird ingestion into large turbofan engines. DOT/FAA/CT-93/14. FAA Technical Center, Atlantic City, New Jersey USA

BLACKWELL, B., F. & G. E. BERNHARDT (2004): Efficacy of aircraft landing lights in stimulating avoidance behavior in birds. *Journal of Wildlife Management* 68 (3): 725-732

BLOKPOEL, H. & B. MACKINNON (2001): The need for a radar-based, operational bird-warning system for civil aviation. Pages 227-231 in *Bird Strike 2001. Proceedings of the Bird Strike Committee-USA/Canada meeting*, Calgary, Alberta. Transport Canada, Ottawa, Ontario Canada

BURGER, J. (1983): Jet aircraft noise and bird strikes: why more birds are being hit. *Environmental Pollution (Series A)* 30:143-152.

BUURMA, L. S. (1996): Superabundance of birds: trends, wetlands and aviation. Pages 43-50 in *Proceedings of the 23rd Bird Strike Committee Europe Meeting*. London, England

CIAIAC (Comission de Investigacion de Accidentes e Incidentes de Aviatcion Civil) (2005): Accident of aircraft Boeing B-737, registration PH-BTC, at Barcelona Airport, on 28 November 2004. Technical report A-070/2004. Madrid, Spain

CLEARY, E. C. & R. A. DOLBEER (2005): Wildlife hazard management at airports, a manual for airport personnel. 2nd Edition. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC, USA. 348 pages (<http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/>)

CLEARY, E. C., R. A. DOLBEER, & S. E. WRIGHT (2005): Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990–2004. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Serial Report No. 11 DOT/FAA/AS/00-6(AAS-310). Washington D.C. USA. 54 pages

CLEARY, E. C., R. A. DOLBEER, & S. E. WRIGHT (2007): Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990–2006. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Serial Report No. 13 DOT/FAA/AS/00-6(AAS-310). Washington D.C. USA. 60 pages. (<http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/>)

DOLBEER, R. A. (2006a): Birds and aircraft compete for space in crowded skies. ICAO Journal. 61(3):21-24. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada

DOLBEER, R. A. (2006b): Height distribution of birds recorded by collisions with aircraft. Journal of Wildlife Management 70 (5): 1345-1350

DOLBEER, R. A. & P. ESCHENFELDER (2003): Amplified bird-strike risks related to population increases of large birds in North America. Pages 49-67 in Proceedings of the 26th International Bird Strike Committee meeting (Volume 1) Warsaw, Poland

DOLBEER, R. A., S. E. WRIGHT & E. C. CLEARY (2000): Ranking the hazard level of wildlife species to aviation. Wildlife Society Bulletin 28:372-378

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (2006): Order 7110.65R. Air Traffic Control. February 16, 2006. Chapter 2, Section 1, Paragraph 22 (http://www.faa.gov/airports_airtraffic/air_traffic/publications/atpubs/ATC/index.htm)

FRINGS, G. (1984): A study of bird ingestions into large high bypass ratio turbine aircraft engines. DOT/FAA/CT-84/13. FAA Technical Center, Atlantic City, New Jersey USA

HOVEY, P. W., D. A. SKINN & J. J. WILSON (1991): Engine bird ingestion experience of the Boeing 737 aircraft (October 1986 - September 1989). DOT/FAA/CT-90/28. FAA Technical Center, Atlantic City, New Jersey USA

INTERNATIONAL BIRDSTRIKE COMMITTEE (2006): Standards for aerodrome bird/wildlife control. Recommended Practices No. 1. October 2006. (<http://www.int-birdstrike.org/>)

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (1989): Manual on the ICAO Bird Strike Information System (IBIS). Third Edition. Montreal, Quebec, Canada

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (1993): Convention on international civil aviation (international standards and recommended practices). Annex 16: Environmental Protection. Third Edition. Montreal, Quebec, Canada

KELLY, T. C., M. J. A. O'CALLAGHAN & R. BOLGER (2001): The avoidance behaviour shown by the rook (*Corvus frugilegus*) to commercial aircraft. Pages 291-299 in H. J. PELZ, D. P. COWAN, and C. J. FEARE (Editors), *Advances in vertebrate pest management II*. Filander Verlag

MACKINNON, B., R. SOWDEN and S. DUDLEY (Editors) (2001): *Sharing the skies: an aviation industry guide to the management of wildlife hazards*. Transport Canada, Aviation Publishing Division, Ottawa, Ontario, Canada. 316 pages

MARTINO, J. P., D. A. SKINN & J. J. WILSON (1990): Study of bird ingestions into small inlet area, aircraft turbine engines (May 1987 - April 1989). DOT/FAA/CT-90/13. FAA Technical Center, Atlantic City, New Jersey USA

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (2006): Accident report IAD05LA129 involving Dassault/ Sud Falcon 20D, N821AA, operated by USA Jet Airlines, Inc., on 1 September 2005. <http://www.nts.gov/ntsb/query.asp> accessed on 20 June 2007. Washington, DC USA

RICHARDSON, W. J. & T. WEST (2000): Serious birdstrike accidents to military aircraft: updated list and summary. Pages 67-98 in *Proceedings of 25th International Bird Strike Committee Meeting*. Amsterdam, Netherlands

SAUER, J. R., J. E. HINES & J. FALLON (2006): *The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966 - 2005*. Version 6.2.2006, U.S. Geological Survey, Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland USA

THORPE, J. (1996): Fatalities and destroyed aircraft due to bird strikes, 1912-1995. Pages 17-31 in *Proceedings of 23rd Bird Strike Committee Europe Meeting*. London, England

THORPE, J. (2003): Fatalities and destroyed aircraft due to bird strikes, 1912-2002. Pages 85-113 in *Proceedings of the 26th International Bird Strike Committee Meeting (Volume 1)*. Warsaw, Poland

THORPE, J. (2005): Fatalities and destroyed aircraft due to bird strikes, 2002-2004 (with an appendix of animal strikes). Pages 17-24 in Proceedings of the 27th International Bird Strike Committee Meeting (Volume 1). Athens, Greece

TRANSPORT CANADA (2002): Wildlife Control Procedures Manual. Safety and Security, Aerodrome Safety Branch, TP11500E. Ottawa, Canada. (<http://www.tc.gc.ca/civilaviation/aerodrome/wildlifecontrol>)

Anschrift des Verfassers:

Richard A. Dolbeer, U.S.
Department of Agriculture, Wildlife Services,
6100 Columbus Avenue,
Sandusky, OH 44870, USA

Anlage A.: Totalschäden infolge Vogelschlags bei achtzehn Großraumtransportflugzeugen (>5.700 kg maximale Startmasse) mit Mantelstromtriebwerken, 1968-2005: Flugphase bei Eintreten des Vogelschlags und betroffene Flugzeugpartie.

Datum	Land	Ziv./mil.	Flugzeugtyp	Flugzeugmasse	Anzahl Mantelstromtriebwerke	Flugphase	Höhe (ft) GND	Betroffene Partien	Datenquelle ^a
28-Jul-68	USA	Zivil	Falcon 20	3	2	Start	0	Triebwerk	1
12-Apr-73	Argentinien	Zivil	BAC 1-11	4	2	Steigflug	20	Triebwerk	2
12-Dez-73	GBR	Zivil	Falcon 20	3	2	Start	0	Triebwerk	1
12-Nov-75	USA	Zivil	DC10	4	3	Start	0	Triebwerk	1
12-Nov-76	USA	Zivil	Falcon 20	3	2	Start	0	Triebwerk	1
4-Apr-78	Belgien	Zivil	B737	4	2	Start	0	Triebwerk	1
6-Dez-82	Frankreich	Zivil	Learjet 35	3	2	Start	0	?	1
29-Sep-86	Indien	Zivil	A300	4	2	Start	0	Triebwerk	1
15-Sep-88	Äthiopien	Zivil	B737	4	2	Start	0	Triebwerk	1
25-Jul-90	Äthiopien	Zivil	B707	4	4	Start	0	?	1
13-Okt-92	Russland	Zivil	Antonov 124	5	4	Testflug	19.700	Bug	3
20-Jan-95	Frankreich	Zivil	Falcon 20	3	2	Start	0	Triebwerk	1
22-Sep-95	USA	Mil.	E-3B (B707)	4	4	Start	0	Triebwerk/ andere Partie	4
14-Jul-96	Griechenland	Mil.	E-3A (B707)	4	4	Start	0	Triebwerk/ andere Partie	4
20-Mär-99	Äquatorial-guinea	Zivil	Yakovlev 40	3	3	Start	0	Triebwerk	3
1-Jun-03	Italien	Zivil	Learjet 45 XR	3	2	Start	0	Triebwerke	3
28-Nov-04	Spanien	Zivil	B-737-400	4	2	Steigflug	<100	Fahrgestell	5
1-Sep-05	USA	Zivil	Falcon 20	3	2	Steigflug	15	Triebwerke	6

a: 1 = Thorpe (1996); 2 = Thorpe (2003); 3 = Thorpe (2005); 4 = Richardson & West (2000); 5 = CIAIAC (2005); 6 = National Transportation Safety Board (2006)

Anlage B.: Totalschäden infolge Vogelschlags bei achtzehn Großraumtransportflugzeugen (>5.700 kg maximale Startmasse) mit Mantelstromtriebwerken, 1968-2005: Flugphase bei Eintreten des Vogelschlags und betroffene Flugzeugpartie.

Datum	Land	Ziv./ mil.	Flugzeug- typ	Flugzeug- masse	Anzahl Turbo- strahltrieb- werke	Flugphase	Höhe (ft) GND	Betroffene Partien	Datenquelle ^a
26-Mär-73	USA	Zivil	Learjet 24	3	2	Start	0	Triebwerk	1
14-Jun-75	USA	Zivil	Sabreliner	3	2	Start	0	Triebwerk	1
20-Nov-75	GBR	Zivil	BAe 125	3	3	Steigflug	75	Triebwerk	1
6-Feb-76	ITA	Zivil	Learjet 24	3	2	Start	0	Triebwerk	1
17-Aug-83	USA	Zivil	Learjet 25	3	2	Steigflug	500	Triebwerk	1
12-Nov-03	USA	Zivil	Learjet 24	3	2	Steigflug	<100	Triebwerke	1

a: 1 = Thorpe (1996); 2 = Thorpe (2003); 3 = Thorpe (2005); 4 = Richardson & West (2000); 5 = CIAIAC (2005); 6 = National Transportation Safety Board (2006)