Kollision mit Drohnen

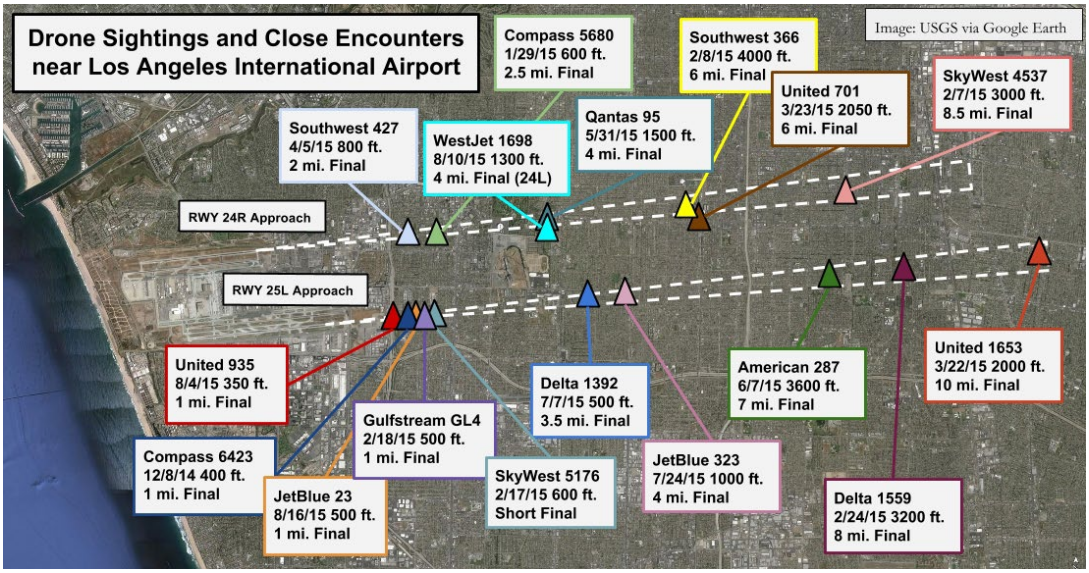
FORSCHUNGEN UND ERKENNTNISSE ZU EINEM NEUEN RISIKO
VON FLUGKAPITÄN PETER KLANT

Drohnen haben längst Einzug in unser ziviles Leben gehalten. Sie liefern uns grandiose Filmperspektiven – und vielleicht mal Pakete. Sie kartographieren Städte, helfen Architekten und der Feuerwehr, dokumentieren Unfallstellen und retten Menschen in Seenot. Aber sie stellen auch eine neue Bedrohung dar. Neue Forschungen belegen, dass Drohnen für die bemannte Luftfahrt viel gefährlicher sind als Vögel…

Wie ist die Bedrohung der bemannten Luftfahrt durch Drohnen zu bewerten? In den letzten Jahren wurden vor allem in der Verkehrsfliegerei vermehrt gefährliche Begegnungen und Sichtungen von Drohnen gemeldet.

Drohnen-Sichtungen zeigen ein zunehmendes Risiko

Ich selbst erinnere mich an einen Start in New York im A380, bei dem wir – noch in niedriger Höhe über Long Island – ein rotes „Flugobjekt“ gesehen haben. Ich bat den Copiloten, die Sichtung an den Fluglotsen zu weiterzugeben, der daraufhin eine Begegnung mit einem „Wetterballon“ meldete. Auch wenn das Objekt nicht genau erkennbar war, bin ich mir jedoch sicher: Es



Drohnen-Sichtungen im Anflugsektor von Los Angeles (LAX) 2015
Center for the Study of the Drone at Bard College

Drone Collision Test, 30. November 2017 – kurz vor und nach dem Aufprall
Civil Aviation Administration of China (CAAC)

war eine Drohne. Wetterballone habe ich in der Luft schon gesehen. Und es ist unwahrscheinlich, dass ein Wetterballon ausgerechnet im Abflugsektor eines internationalen Flughafens aufgelassen wird.

Hier ein paar Zahlen, die das Problem verdeutlichen:

- Die Deutsche Flugsicherung DFS schätzt, dass alleine in Deutschland mehr als 400.000 Multicopter im Einsatz sind.[1]
- In den USA wurden 2017 nahezu drei Millionen Drohnen ausgeliefert.
- Bei der FAA waren 2017 etwa 770.000 Drohnen registriert.
- Von 921 untersuchten Drohnen-Sichtungen in den USA waren die Mehrzahl innerhalb von 5 Meilen um einen Flughafen und 90 % höher als 400 Fuß AGL, also illegal nach den gültigen FAA Regeln.
- Bei 160 Beinahe-Zusammenstößen mit Drohnen war das bemannte Flugzeug ein mehrstrahliges Verkehrsflugzeug mit mehr als 50 Sitzen.
- 2015 gab es in den USA 28 Zwischenfälle, in denen ein bemanntes Flugzeug ausweichen und manövrieren musste, um eine Kollision zu vermeiden.

Luftfahrtbehörden versuchen „Sicherheit durch Regulierung“

Aufgeschreckt durch die immer häufigeren Drohnen-Sichtungen durch Verkehrspiloten und durch die völlig unregulierte Verbreitung immer leistungsfähigerer Drohnen haben die Luftfahrtbehörden vieler Länder schon seit Längerem Regeln und Beschränkungen für die Nutzung von Drohnen eingeführt. Weitere Vorschriften dazu sind auch in Europa zu erwarten. Diese Regeln sind jedoch nicht Thema dieses Artikels. Die Frage, ob Drohnen sicher in unsere Lufträume zu integrieren sind, ist bei Weitem noch nicht vollständig und abschließend beantwortet. Die vielen Drohnen-Sichtungen in der Nähe der großen Verkehrsflughäfen zeigen, dass die Regelungen nicht ausreichend greifen, um die Sicherheit der bemannten Luftfahrt zu gewährleisten. Um die Risiken durch Drohnen besser zu verstehen, wurden schon viele Studien durchgeführt. Inzwischen geht es dabei nicht mehr nur um Statistiken von Drohnen-Sichtungen und gefährlichen Begegnungen. Mehrere Staaten forschen

1) Aerokurier März 2018

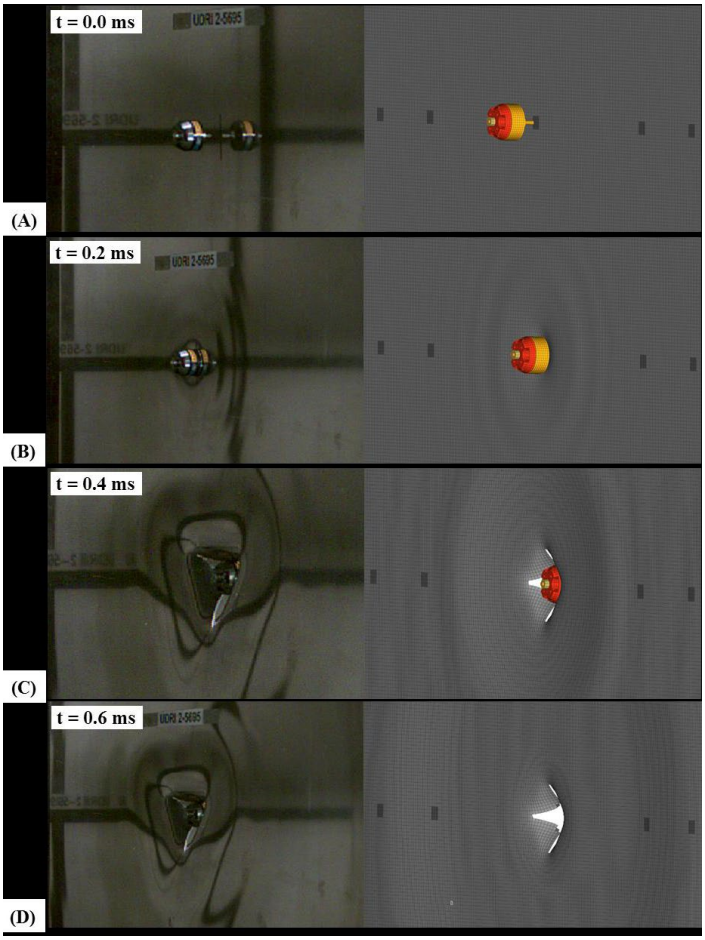
bereits an der brennenden Frage: Wie würde sich die Kollision mit einer Drohne auf ein bemanntes Flugzeug auswirken? Sowohl in China als auch in den USA und in UK wurden bereits die ersten Ergebnisse veröffentlicht.

Hardware-Tests in China

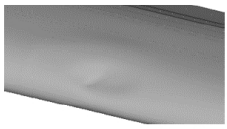
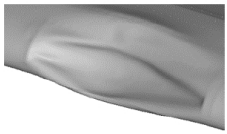
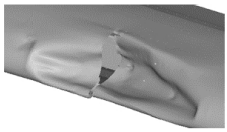
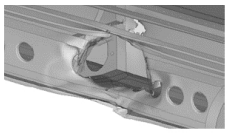
Über die Forschungen in China ist nur sehr wenig bekannt. Wie in den anderen großen Luftfahrtnationen geht es den Chinesen offenbar hauptsächlich darum, zu verstehen, wie sich eine Drohnen-Kollision auf Verkehrsflugzeuge auswirkt. General Aviation gibt es in China kaum. Das Interesse an dem Thema wird in China immer drängender. Es hatte schon – wie in anderen Ländern – eine Vielzahl von Drohnen-Sichtungen und Beinahe-Zusammenstößen gegeben. Ebenso einige für die Verkehrsluftfahrt besonders unangenehme und teure Luftraumsperrungen. In einem dieser Fälle wurde auch schon mal von einer pragmatischen chinesischen Lösung Gebrauch gemacht: Die den Flugverkehr störende Drohne wurde von einem Hubschrauber abgeschossen.

Der erste Hardware-Test in China, der im Westen bekannt wurde, fand am 30. November 2017 statt. An der Xiangbei Experimental Base of Aviation Industry wurde eine typische Cockpit-Sektion mit einem Raketenschlitten auf eine „typische“ Fluggeschwindigkeit gebracht und kollidierte dann mit einer Drohne. Der Test war von der Civil Aviation Administration of China (CAAC) in Auftrag gegeben worden. Beteiligt waren verschiedene Institute und u.a. ein Hersteller für Cockpitscheiben (chinesische Cockpitscheiben haben längst den Weg in westliche Verkehrsflugzeuge gefunden).

Getestet wurde die Kollision einer Drohne mit dem Cockpitbereich eines Verkehrsflugzeugs.



Validierung der Simulation: Links: Beschuss einer Aluminiumplatte mit einem Drohnen-Motor (250 kts). Rechts: dasselbe Szenario am Computer berechnet. ASSURE Report

Severity	Description	Example
Level 1	• Airframe undamaged. • Small deformations.	
Level 2	• Extensive permanent deformation on external surfaces. • Some deformation in internal structure. • No failure of skin.	
Level 3	• Skin fracture. • Penetration of at least one component into the airframe.	
Level 4	• Penetration of UAS into airframe. • Failure of parts of the primary structure.	

Schadenkategorien des ASSURE-Programms

Dabei wurde jeweils die äußere Schicht der Cockpitscheibe zerstört. Eine befürchtete Penetration des Cockpits blieb dabei aus. Das kann aber keine Entwarnung zum Risiko sein, denn es wurden keine genauen Daten über die getestete Geschwindigkeit bekannt. Am Ende des Artikels findet sich ein Link zu den Versuchen, der auch Videos enthält.

Forschungsprogramme in den USA

In den Vereinigten Staaten wird schon länger an Auswirkungen von Kollisionen mit Drohnen geforscht. Hier möchte ich einige Ergebnisse aus dem Virginia CRASH Test Lab (CRASH: Crashworthiness for Aerospace Structures and Hybrids) von 2015 vorstellen sowie die 14-monatige ASSURE Studie der FAA zu den Risiken von Drohnen-Kollisionen. ASSURE ist die Abkürzung für „Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence". An der Studie sind mehrere Universitätsinstitute beteiligt. Federführend ist die Wichita State University. Ein erster Bericht wurde am 28. November 2017 veröffentlicht.

Sämtliche „Tests" wurden mit Hochleistungscomputern berechnet. Die Computer-Simulationen haben den Vorteil, dass viel mehr Szenarien durchgerechnet werden können, als das z. B. mit einem Raketenschlitten-Test möglich ist. Im ASSURE-Programm wurden in einem ersten Schritt 140 verschiedene Szenarien der Kollision eines Quadcopter und einer Drohne mit festen Tragflächen mit einem Verkehrsflugzeug und einem Business Jet berechnet. Im nächsten Jahr sollen Kollisionen mit Flugzeugen der General Aviation und mit Hubschraubern berechnet werden.

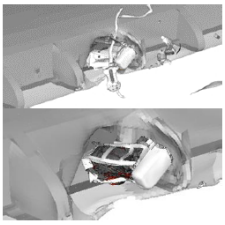
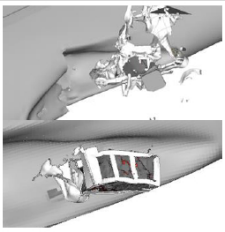
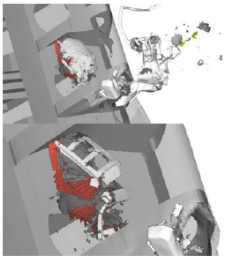
Vor Beginn der Berechnungen fanden umfangreiche Hardware-Tests zu einzelnen Komponenten der Drohnen statt, um das Gesamtmodell zu validieren. Dabei wurden Aluminiumplatten mit Kameras, Motoren und Batterien beschossen und die Ergebnisse mit den Computersimulationen verglichen. Zusätzlich wurden jeweils die Kollision mit einer Drohne und die mit einem gleich schweren Vogel berechnet. Denn zu Vogelschlag gibt es eine valide Test- und Schadensdatenbasis.

Ein überraschendes Ergebnis war z. B., dass ein High Speed Impact eines Lithium-Ionen-Akkupacks nicht unbedingt eine Explosion desselben auslöst, weil die Batterie dabei völlig zerschmettert und verteilt wird.

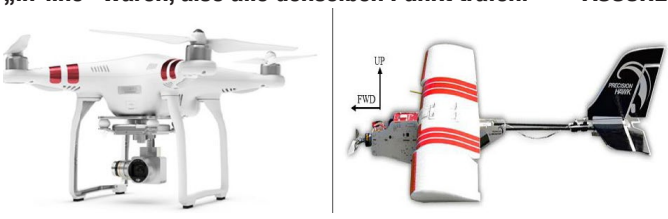
Auf der anderen Seite haben einige der Szenarien zu einer Penetration des Cockpits geführt, zu schwersten Schäden an den Tragflächen und Leitwerken und zur Zerstörung des Fans im Triebwerk.

Schlecht ist, besonders für die Allgemeine Luftfahrt, dass bei niedrigeren Geschwindigkeiten (um ca. 100 kts) die Batterie Packs weitgehend zusammenbleiben und zu einer erheblichen Feuergefahr im getroffenen Flugzeug werden können.
Die Quintessenz der ASSURE-Studie stimmt mit der Überschrift aus einem Artikel in „Popular Mechanic“ vom Dezember 2016 überein, in der es heißt: „Drohnen-Kollisionen sind nicht wie Vogelschlag, sie sind viel, viel schlimmer.“

Während sich Vögel beim Aufprall eher wie Flüssigkeiten verhalten und ihre Energie breit verteilt wird, kommt es bei Drohnen-Kollisionen eher zu gefährlichen Punktbelastungen durch die Hard-Items wie Motoren, Batterie Packs oder die Kamera. Die Simulationen haben ergeben, dass bei Drohnen-Kollisionen – anders als bei Vogelschlag – damit gerechnet werden muss, dass Teile der Drohne im Target „embedded“ werden, also im Ziel verbleiben. Sie können die Außenhülle durchbrechen, ebenso wie in einigen Szenarien die Cockpitscheiben.

Fire Risk	Description	Example
Yes	• UAS (including the battery) penetrates the airframe. • Battery deforms but stays undamaged. • Validation tests showed that partly damaged batteries created heat and sparks.	
No	• The UAS does not penetrate the airframe.	
No	• UAS (including the battery) penetrates the airframe. • The battery sustains great damage, destroying its cells. • Validation tests showed that completely damaged batteries did not create heat or sparks.	

Battery Fire Risk: Die Untersuchungen haben ergeben, dass das Risiko eines Batterie-Feuers im getroffenen Flugzeug bei niedrigeren Geschwindigkeiten (ca. 100 kts) am höchsten ist.
Unten: In der Studie wurden Kollisionen mit zwei Drohnen-Typen untersucht. Links eine DJI Phantom 3 (ca. 1,2 kg), rechts eine Precision Hawk Lancaster Hawkeye III (1,8 kg). Bei Frontalzusammenstößen waren die Schäden mit der Fixed-Wing-Drohne gravierender, weil alle Massen (Motor, Batterie, Kamera) „in-line“ waren, also alle denselben Punkt trafen. ASSURE



Wenn solche schweren Schäden bei Verkehrsflugzeugen zu erwarten sind, wie werden dann im nächsten Jahr wohl die Test-Ergebnisse für die Allgemeine Luftfahrt ausfallen? Eine

Cockpitscheibe im Verkehrsflugzeug ist mehrere Zentimeter dick. Wie dick ist die Scheibe in Ihrer Cessna?

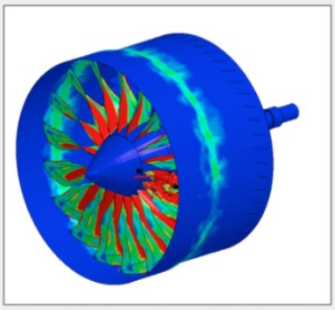


Figure IV.3 Engine damage 1.7 milliseconds following impact. The drone is mostly ingested, and high levels of stress are exerted on the engine blades.

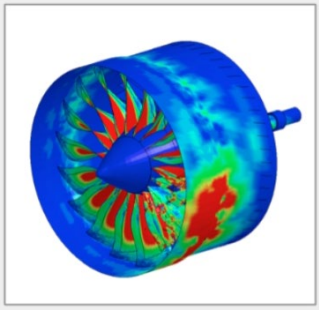


Figure IV.4 Engine damage 6 milliseconds following impact. Failure of the engine blades and moving debris would exert stress on the engine casing.

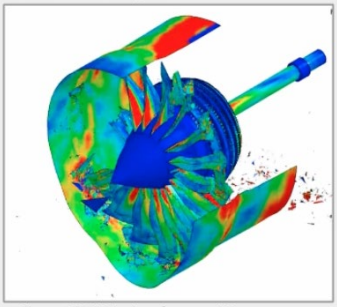


Figure IV.5 Engine damage 17 milliseconds following impact. The drone has been completely ingested and stresses are visible on various engine components.

Figure IV.6 Blade damage following drone ingestion. After the drone cleared the fan stage of the engine in the simulation, three engine blades had failed.

Versuche im Jahr 2015 am Virginia Tec CRASH Lab kamen zu dem Ergebnis: „Once an engine has ingested a drone, it will suffer from a minimum of operational stability issues, to a maximum of thrust loss due to catastrophic failure."

Center for the Study of the Drone at Bard College

Unten: Zu erwartende strukturelle Schäden bei einer Kollision mit einer Drohne. Bei Triebwerken am Heck des Flugzeugs drohen zudem nach einer Kollision in Cockpitbereich Triebwerksschäden weiter hinten. 2015 Virginia Tec CRASH Lab

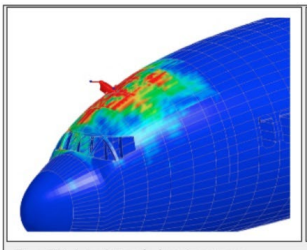


Figure IV.1 A simulation of a drone impact on an aircraft's fuselage

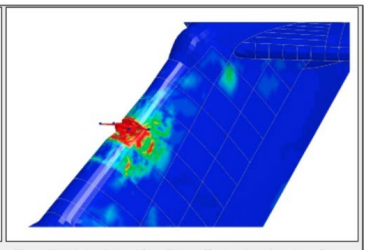


Figure IV.2 A simulation of a collision affecting the tail section of a manned aircraft

Images Courtesy of the Virginia Tech CRASH Lab

Es wurden Simulationen mit zwei Drohnen-Typen und einem typischen Kurzstrecken-Verkehrsflugzeug der Kategorie B737/A320 berechnet. Ebenso wurden Kollisionen mit einem Business Jet (Learjet 31A) simuliert.

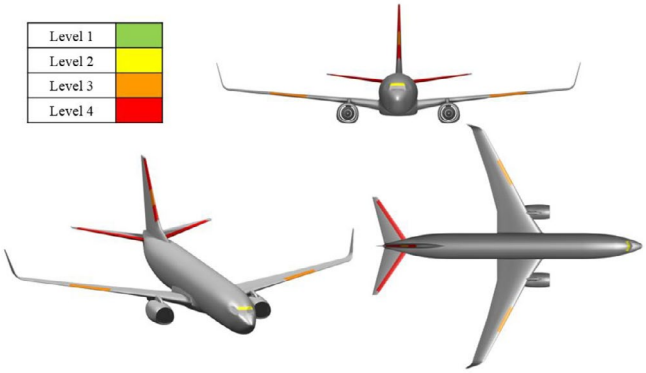
Die Ergebnis der ASSURE-Studie zeigt, dass das größte Risiko einer Drohnen-Kollision bei den Leitwerken und – gerade bei Business Jets – bei den Cockpitscheiben liegen, wo schwere strukturelle Schäden entstehen können. Die Drohne dringt u. U. in die Struktur ein. Einige Flugzeugtypen haben beim Start ordentlich Treibstoff im Höhenleitwerk, beim A380 etwa 14 Tonnen. Da will niemand eine kokelnde Drohne drin haben.

Entscheidend für die Schadenshöhe ist natürlich die Fluggeschwindigkeit, der einzige Parameter, den wir Piloten in diesen Szenarien beeinflussen können. Darauf möchte ich später noch eingehen.

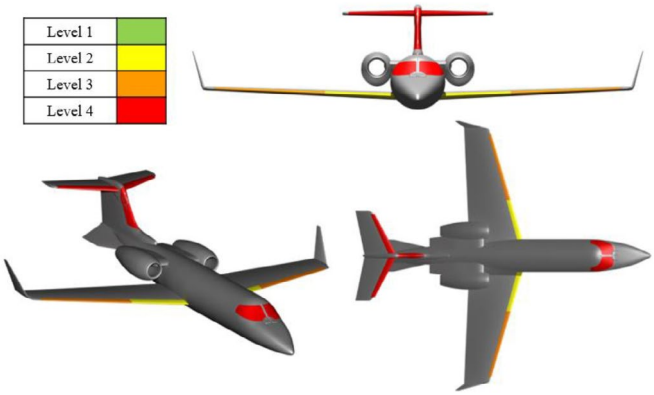
Forschungen in UK

Die britischen Untersuchungen zu Kollisionen mit Drohnen kommen in etwa zu denselben Ergebnissen wie die US-Studien, daher möchte ich hier nur kurz darauf eingehen. Auch in UK wurden „life-firings", also Beschuss-Tests, ebenso durchgeführt wie

Computer-Simulationen. Insbesondere wurden auch die Auswirkungen auf Hubschrauber untersucht, die am ehesten in den Arbeitshöhen von Drohnen unterwegs sind. Es wurde eine erhebliche Bedrohung ermittelt. So ist es bei Hubschraubern mit „non bird strike certified windscreens“ bei einer Kollision mit einer größeren Drohne (die eine erhebliche Geschwindigkeit erreichen kann) möglich, dass die Drohne sogar im Schwebeflug des Hubschraubers die Cockpitscheibe durchbrechen kann. Bei Hubschraubern mit „bird strike certified windscreens“ ist damit zu rechnen, dass bei einer Kollision bei Reisegeschwindigkeit die Drohne ins Cockpit eindringt. Auch der Heckrotor ist bei Drohnenkollision sehr gefährdet. Bei Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt wird eine ähnliche Bedrohung für die Piloten angenommen, wie bei Hubschraubern mit „non bird strike certified windscreens“.



Die zu erwartenden Schäden bei einem Verkehrsflugzeug und einem Business Jet für die Kollision mit einer Fixed-Wing-Drohne (1,8 kg) bei 250 kts. Level 3 bedeutet, dass wenigstens ein Teil der Drohne in die Struktur eindringt, Level 4 (rot) bedeutet: „Penetration of UAS into airframe. Failure of primary structure. ASSURE

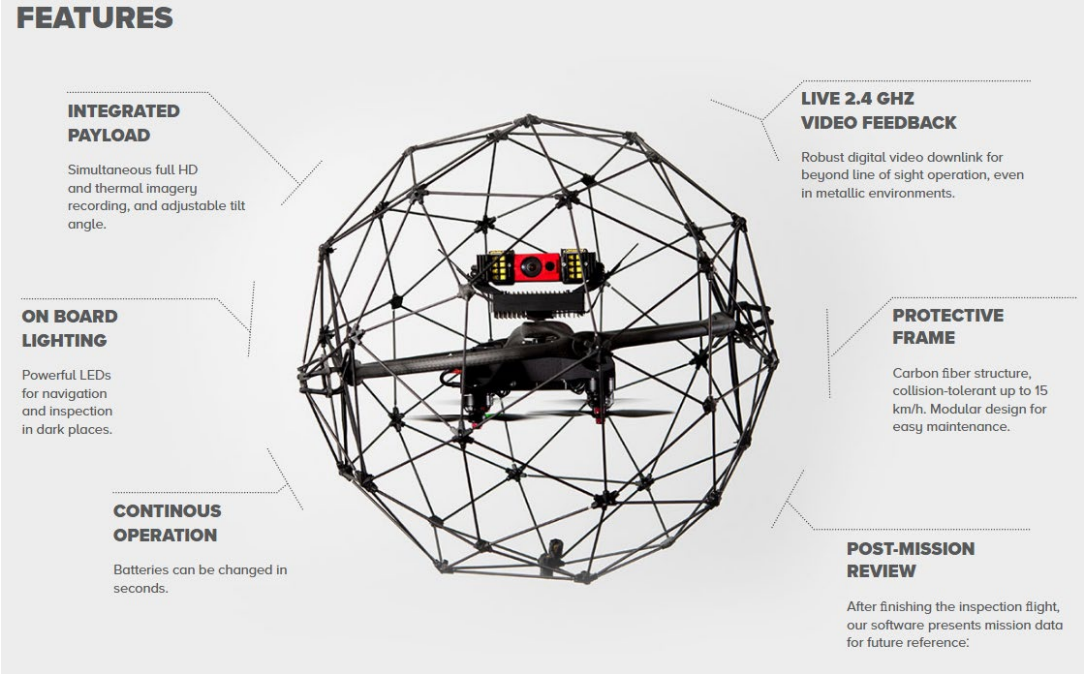


Die „guten“ Drohnen

Bisher habe ich nur die Schäden aufgezeigt, die eine Kollision mit einer Drohne erzeugen können. Nun möchte ich kurz beschreiben, welche innovativen Möglichkeiten der Einsatz von Drohnen in unserem zivilen Leben hat. Hier eine bei Weitem nicht vollständige Liste von zivilen Anwendungen von Drohnen:

- Film und Fernsehen – kaum ein Tatort oder eine andere Filmproduktion kommt heute am Einsatz von hochwertigen Kamera-Drohnen vorbei. Die möglichen Aufnahmeperspektiven sind spektakulär und der Einsatz einer Drohne natürlich viel billiger als der eines Helikopters.

- Transport-Drohnen – in der Schweiz gibt es bereits einen regelmäßigen Drohnenverkehr zwischen



Industriedrohne FlyAbility ELIOS für den Einsatz in beengten Räumen **www.flyability.com/elios**

Krankenhäusern. Transportiert werden Laborproben, Medikamente und Blutkonserven (Matternet - www.Mttr.net).

- Industriedrohnen (outdoor) können zur Inspektion von Leitungen verwendet werden und auch zur Inspektion von gefährlichen Industrieanlagen, wo sich aus Sicherheitsgründen der Einsatz von Helikoptern verbietet.

- Industriedrohnen (indoor) – es gibt Spezialdrohnen, die innerhalb von geschossenen Produktionsanlagen fliegen und diese inspizieren können. Und das nicht nur in Kesseln, sondern auch in unzugänglichen Röhren. Andere Anwendungen sind Tunnelinspektionen, Versorgungsschächte und die Erforschung verlassener und für Menschen gefährlicher Bergwerke.

- Polizei und Feuerwehr – Drohnen der Rettungsdienste leisten gute Arbeit z. B. bei größeren Katastrophen wie Überschwemmungen, Erdbeben oder Waldbränden.

- Crash Investigation – Immer mehr Untersuchungsbehörden verwenden Drohnen, um Absturzstellen zu kartographieren und nach Flight Recordern zu suchen. So wurden zuletzt Drohnen eingesetzt nach dem Absturz einer ATR-42 in Fond-du-Lac, Kanada, (13. Dezember 2017) und nach dem Absturz einer Antonov AN-148 bei Moskau (11. Februar 2018).

- Vermessung – ein unerschöpfliches Feld für Drohnen. So können Strecken für den Straßenbau ebenso schnell vermessen werden wie schwer zugängliche Gebiete in den Bergen. Kürzlich wurde in nur fünf Stunden Flugzeit das Matterhorn fotografisch in 3D von einer Drohne neu aufgenommen.

- Wissenschaft – Drohnen vermessen das Volumen von Gletschern, antike Ausgrabungsstätten und vieles andere mehr zu viel geringeren Kosten als Hubschrauber, Flugzeuge oder Satelliten.

- Bauwirtschaft – Kürzlich wurde bei uns in der Familie ein Dach mit einer Drohne vermessen, das zum Umbau anstand. Viel sicherer und billiger als Gerüst aufstellen und hochklettern.

- Private Drohnen – die bescheren uns grandiose Videos im Internet und sind auch sicher zu betreiben – wenn sich die Nutzer an die Regeln halten.

- Agrar-Drohnen – Drohnen fliegen kurz vor Erntemaschinen her und liefern dem Fahrer Life-Bilder vom Feld kurz voraus. So können Kollisionen mit Wild verhindert werde. Das dient nicht nur dem Tierschutz, sondern verhindert auch Schäden an der Erntemaschine.

- Und noch einmal Agrar-Drohnen – Foto-Drohnen vermessen autonom ganze Areale in bergigem Gelände. Anschließend wird mit „Pflanz-Drohnen“ das komplette Areal automatisch aufgeforstet.

- Rettungsdienste – Kürzlich wurde ein Drohnen-Video veröffentlicht, das einige Schwimmer in Seenot in der Brandung zeigte. Die Drohne warf einen länglichen Schwimmkörper ab, an dem sich die erschöpften Schwimmer erst mal halten konnten. Es war die erste bekannte Menschenrettung mit einer Drohne.

Die „bösen“ Drohnen und ihre Operator

Natürlich gibt es keine „guten“ oder „bösen“ zivile Drohnen. Der Unterschied ist nicht die Drohne selbst, sondern der Operator. Ob der Betrieb mit einer Drohne sicher ist, hängt davon ab, ob der Nutzer sich an die Regeln hält. Tut er das nicht, verwenden die Amerikaner dafür den Begriff des „uncooperative users“.

Eine Kollision kann dann passieren, wenn sich jemand nicht an die Regeln hält. Das muss nicht unbedingt der Drohnen-Operator sein, es kann auch ein Pilot sein, der z. B. zu tief fliegt.

Ein „uncooperative user“ stellt für die bemannte Luftfahrt nicht nur dann ein Risiko dar, wenn er absichtlich die Regeln nicht einhält, sondern auch, wenn er sie nicht kennt oder fahrlässig eine Drohne in Betrieb nimmt, ohne zu wissen, ob er das überhaupt darf und ob das in diesem Luftraum zulässig ist. Geradezu kriminell wird es, wenn ein Drohnen-Operator bewusst gegen Regeln verstößt und dazu z. B. eingebaute

Sicherheitseinrichtungen wie das Geofencing außer Kraft setzt.
Wenn in Zukunft ein ernster Unfall passiert, bei dem Flugzeuge oder gar Menschen zu Schaden kommen, wird sich auch die juristische Frage stellen, wie der Unfall zu bewerten ist. Ich bin kein Jurist und möchte das Thema hier auch nicht weiter verfolgen. Dennoch stellt sich für mich die Frage, ob es sich dann nicht um eine Straftat handelt, die ähnlich verfolgt wird, wie z. B. die Blendung eines Piloten mit einem Laser oder ein anderer gefährlicher Eingriff in den Luftverkehr. Darum müssen sich aber die Juristen kümmern. Oberstes Ziel muss es bleiben, Drohnen-Kollisionen in Zukunft zu vermeiden.

Dafür gibt es mehrere Ansätze, die gleichzeitig verfolgt werden:

- Forschung zu den Risiken, wie oben beschrieben,
- Aufklärungskampagnen für Drohnen-Nutzer,
- Einführung sinnvoller und einfacher Regeln,
- Lizenzen für schwerere Drohnen,
- Kennzeichnung der Drohnen und ihrer Teile bereits beim Hersteller,
- „Geocaging“ oder „Geofencing“, also das elektronische „Einsperren“ der Drohen in bestimmten Lufträumen,
- Registrierung der Drohnen beim Kauf oder Weiterverkauf,
- Zwangs-ID, die die Drohne in der Luft abstrahlt, so dass sie für andere sichtbar wird (vor allem für die Piloten und die Flugsicherung),
- automatisches Ausweichen von Drohnen vor anderen Luftfahrzeugen.

Einige Systeme und Regeln gibt es schon heute. Ich möchte weiter unten auf ein paar davon eingehen.

Kollision!

Was wir in der allgemeinen Luftfahrt bei einer Drohnen-Kollision zu erwarten haben, zeigt ein tödlicher Unfall von 1997: Damals stieß ein 10 kg schweres ferngesteuertes Modellflugzeug mit einem Motorsegler zusammen. Dass Modellflugzeug traf den Motorsegler im Außenbereich der Tragfläche, drang in die Fläche ein und zerstörte den Holm. Die Tragfläche brach ab und der Motorsegler stürzte unkontrollierbar ab. Beide Insassen kamen ums Leben.

Dieser Unfall steht zu Recht ganz oben in einer Liste über Unfälle und Zwischenfälle mit Drohnen, denn er zeigt die Risiken, die nicht davon abhängen, ob ein Operator das Modell direkt steuert oder ob eine Drohne autonom fliegt (Link zum BFU-Bericht am Ende des Artikels).

Von einigen Kommentatoren im Internet wurden bis vor kurzem Kollisionen mit Drohnen im Netz verharmlost und als hypothetisches und zu vernachlässigendes Risiko abgetan. Von anderen dagegen wurden Unfälle dieser Art als unausweichlich vorhergesagt.

Als die erste Studie zum Thema in den UK veröffentlicht wurde, wetterte sofort ein Verband von Drohnenherstellern dagegen. Die BBC schrieb dazu im Juli 2017: „UK government‘s drone collision report criticised.“ Denn es wurden nur Auszüge veröffentlicht, nicht der komplette Bericht. Das war von der

britischen Regierung ungeschickt, scheint aber politische Gründe gehabt zu haben, denn mit der Studie wurde ein neues Gesetz mit neuen Regeln für Drohnen begründet.
Die Kritik war aber schnell verstummt, als nur wenige Monate später im Herbst 2017 die ersten beiden Kollisionen mit Drohnen erfolgten. So wie die Computer-Simulationen durch Hardware-Tests validiert wurden, bestätigten nun die ersten Kollisionen die bisher veröffentlichten Forschungen:

12. Oktober 2017 – Kollision mit einer King Air

Eine Beech King Air A100 ist auf einem Instrumentenanflug auf den Jean Lesage International Airport (CYQB) in Québec City. An Bord sind die beiden Piloten sowie sechs Passagiere. Kurz nach Überfliegen des Final Approach Fix sieht die Crew eine Drohne und kann nicht mehr ausweichen. Die Drohne trifft die King Air im äußeren Bereich der Tragfläche in einer Höhe von 1.500 Fuß. Die Crew erklärt einen Emergency, kann aber sicher landen. Es werden Kratzer und Farbspuren am Deicing Boot und auf der Oberseite der Tragfläche gefunden. Zum Glück nur ein „Streifschuss“.

Noch bevor irgendwelche Details bekannt werden und noch ehe überhaupt klar ist, um welchen Drohnen-Typ es sich überhaupt handelt, gibt der führende Drohnenhersteller der Welt DJI ein Statement heraus: Alle DJI Drohnen seien per Geofencing auf 120 Meter Höhe limitiert und auch der Luftraum um CYQB sei im Geofencing als „restricted“ hinterlegt.
Das Statement von DJI richtete das Augenmerk auf die Geofencing Technologie. Schnell wurde aber deutlich, wie wenig Schutz Geofencing eigentlich bietet. Die Ermittlungen des NTSB in den USA zu einer zweiten Kollision im Monat zuvor offenbarten einen sehr löchrigen „Zaun“:

21. September 2017 – Kollision mit einem Hubschrauber

Zwei U.S. Army Sikorsky UH-60M Black Hawk Hubschrauber sind auf einem Einweisungsflug nahe Staten Island, New York, in 300 Fuß Höhe über Wasser unterwegs. Für diese Art Flugbetrieb über Wasser ist 300 Fuß eine zulässige Höhe. Es handelte sich um einen Familiarization Flight innerhalb der Grenzen einer Temporary Flight Restriction (TFR) Area, die für eine Vollversammlung der UNO aktiviert worden war. Der Helikopter flog innerhalb der TFR, für alle anderen Flugzeuge (und Drohnen) ist darin der Betrieb nicht zulässig.
Im letzten Moment sieht der Copilot des „Leaders“ eine Drohne, verringert sofort und aggressiv den „Collective“. Vergeblich, die Drohne kollidiert mit dem Hubschrauber. Der Kommandant übernimmt die Kontrolle und fliegt den Helikopter sofort zurück zu seiner Basis.

Unfalluntersuchung des NTSB

Das NTSB übernahm gleich nach der Kollision die Unfalluntersuchung. Die Schadensaufnahme ergab eine fast vier Zentimeter lange Delle in einem der Hauptrotorblätter des Hubschraubers, Risse in einer Verkleidung sowie im Rahmen eines Cockpitfensters. Wie in den Studien vorhergesagt, wurden einige Teile der Drohne im Helikopter „embedded“, drangen also in die Struktur ein. Im Gebläse für den Ölkühler wurde ein Corpus Delicti ge-

Trümmer im Hubschrauber ermöglichten die Identifizierung der Drohne und führten zum Besitzer und Operator ... NTSB

funden, dessen Herstellermarkierungen es dem NTSB ermöglichten, die Drohne als DJI Phantom 4 zu identifizieren und den Operator der Drohne ausfindig zu machen.

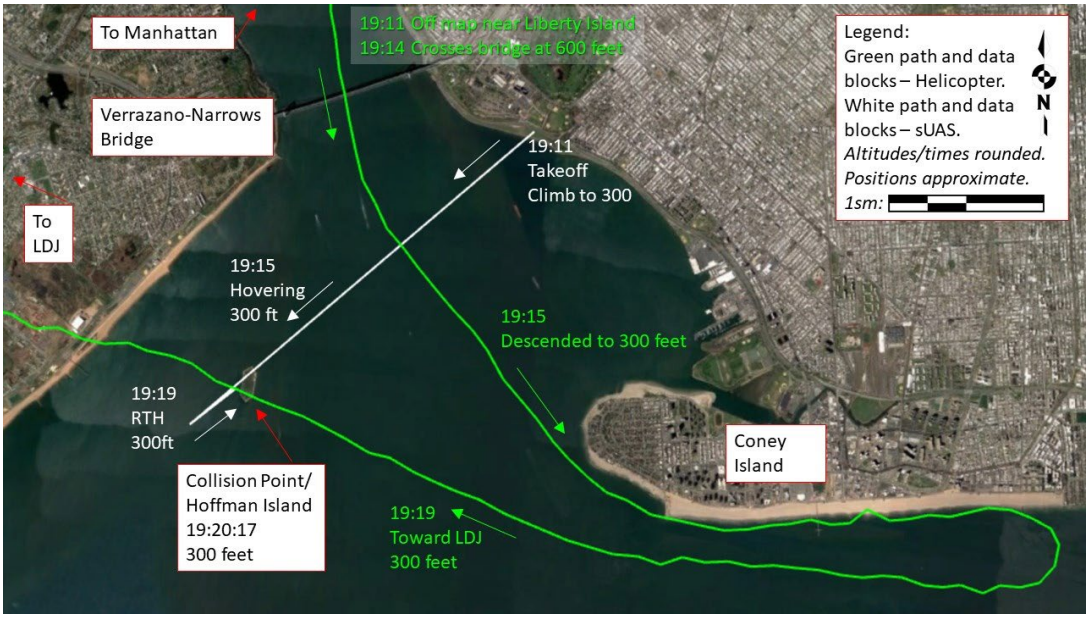
Das NTSB kontaktierte den Operator der Drohne. Es stellte sich heraus, dass der Operator von der Kollision selbst nichts mitbekommen hatte. Die Drohne befand sich zum Zeitpunkt der Kollision fast zweieinhalb Meilen von Operator entfernt, außerhalb seiner Sichtweite. 62 Sekunden vor dem Zusammenstoß aktivierte der Operator die RTH Taste des Controllers (RTH: return-to home). 46 Sekunden später wurde die „battery endurance warning“ aktiviert, die zeigte, dass die Drohne nur noch genug Ladung hatte, um zurückzukehren. Dazu sollte es aber nicht mehr kommen. 26 Sekunden später kam es zur Kollision.

Der Operator wartete nun trotz Signalverlust auf die automatische Rückkehr der Drohne. Nach etwa 30 Minuten ging er davon aus, dass die Drohne wegen einer Fehlfunktion ins Wasser abgestürzt war, und fuhr nach Hause.

Das Interview des NTSB mit dem Operator ergab nur ein rudimentäres Bewusstsein für die Regeln und Risiken des Fliegens im öffentlichen Luftraum. Als Beispiele dafür wurde u. a. angeführt, dass heruntergeladene Tracks vorangegangener Flüge eine Überschreitung der maximal zulässigen Flughöhe zeigten, dass die Drohne außerhalb der Sichtweite flog und dass der Operator die Regeln für Nachtflüge nicht benennen konnte, obwohl die Kollision nur zwei Minuten vor dem Ende der Abenddämmerung erfolgte.

Das einzige Tool, das der Operator verwendete, war das DJI App, in dem u. a. auch Restricted Areas dargestellt werden können. Das App war auf einem Samsung Tablet mit WLAN (aber ohne GSM-Funktion) installiert. In dieser Konfiguration konnte das Tablet die Daten der kürzlich aktivierten TFR nicht herunterladen. Die Geofencing-Funktionen sind vom Hersteller jedoch deutlich als „advisory only“ beschrieben und entbinden den Operator nicht davon, sich über Regeln und Luftraumbeschränkungen aus offiziellen Quellen zu informieren.

Der Operator gehörte also nicht zur Kategorie der kriminellen „Regelbrecher“, sondern zu einer erschreckenden Vielzahl von Drohnennutzern, die lediglich mit einem gesunden Halbwissen ausgestattet ihre Drohnen fliegen lassen. Was die Gefährdung der Hubschrauber angeht, gab der Operator



Drohnen-Kollision mit einem Hubschrauber vor New York **NTSB**

an, er habe die beiden Helikopter nicht gesehen, es flögen aber dauernd Hubschrauber in dieser Gegend. Er habe sich zur Orientierung auf die über Telemetrie übertragenen Video-Bilder verlassen ...

Geocaging oder Geofencing

Geocaging (cage: engl. für Käfig) oder Geofencing (fence: engl. für Zaun) bezeichnet das Beschränken des Betriebsbereichs einer Drohne auf einen bestimmten lateralen Luftraum oder z. B. auf eine maximale Flughöhe. Das passiert im Controller der Drohne und nicht in der Drohne selbst.
Von der Drohnen-Industrie wird Geofencing als die heilsbringende Lösung für sicheren Drohnen-Betrieb verkauft. In der ASSURE-Studie der FAA finden sich dazu kritische Stimmen. Einer der Wissenschaftler äußerte die Meinung, Geofencing eigne sich nur als Schutzfunktion für „cooperative user“. Und genau so scheint es zu sein. Geofencing ist weder vorgeschrieben noch zuverlässig. Für einen umsichtigen Freizeit-Operator kann es eine große Hilfe sein, Flüge in beschränkte Lufträume zu vermeiden und auch die Höhenlimits einzuhalten. Aber auch ein umsichtiger Operator sollte wissen, dass es sich lediglich um ein Advisory System handelt. Das NTSB veröffentlichte in dem Unfallbericht dazu folgenden Hinweis von DJI zum Geofencing:

„GEO provides pilots with up-to-date guidance on areas where flight may be limited by regulation or raise safety concerns. In addition to airport location information, flyers will have real-time access to live information on temporary flight restrictions [and] locations such as prisons, nuclear power plants and other sensitive areas where flying may raise non-aviation security concerns. The GEO system is advisory only. Each

user is responsible for checking official sources and determining what laws or regulations might apply to his or her flight.“

Die NTSB-Untersuchung ergab auch, dass zum Zeitpunkt des Unfalls in New York die TFR-Funktion in der DJI App – ohne Kenntnis der Nutzer – abgestellt war. Es hatte vorher nach der Freischaltung berechtigter Benutzer plötzliche Reaktivierungen von „GEO“ gegeben, sodass die Drohnen z. B. für Rettungsdienste unbenutzbar waren. Ein Software-Fehler, bis zu dessen Behebung DJI das Geofencing still und heimlich komplett deaktiviert hatte.

Warum ist Geofencing unsicher? Geofencing ist nicht Bestandteil der Drohnen-Software und kann es auch nicht sein. Denn natürlich gibt es Operators, die in für Drohnen gesperrten Lufträumen fliegen dürfen. Es wäre wohl keine schöne Situation, wenn die Feuerwehr bei einem Hochhausbrand eine Kamera-Drohne nicht aufsteigen lassen kann, nur weil die Stadt in einer Kontrollzone liegt. Und genau diese Möglichkeit, das Geofencing abzuschalten, macht das ganze System als Schutz vor kriminellem Missbrauch nutzlos. Bei DJI-Drohnen ist es so, dass jeder Nutzer, wenn er bei DJI registriert ist, online für eine bestimmte Zeit das Geofencing abschalten kann. Solche Vorgänge werden protokolliert und könnten nach Unfällen ausgewertet werden. Es geht aber noch viel einfacher: „Uncooperative user“ können einfach den Controller austauschen und eigene Software nutzen. Dann fliegt die Drohne ohne „Zaun“ oder „Käfig“. So kommt es, dass schon Drohnen in über 9.000 Fuß Höhe gesichtet wurden. Oder, wie am Anfang des Artikels erwähnt, im Anflugbereich von LAX, dem internationalen Flughafen von Los Angeles.
Kürzlich gab es einen Near-Miss im Anflug auf Zürich. Ein Drohnen-Operator hatte eine Drohne – offenbar für besonders spektakuläre Aufnahmen – exakt über einem Wegpunkt auf dem ILS positioniert. Eine erste Maschine im Anflug meldete die Sichtung, die nächste entging nur knapp einer Kollision.
Im August 2017 informierte die IFALPA (International Federation of Air Line Pilots‘ Associations) ihre Mitgliedsverbände und die darin organisierten Piloten über ein Problem am Flughafen von Stockholm-Arlanda: Nach jeder Drohen-Sichtung in der Kontrollzone wurde der Flugverkehr für 30 Minuten komplett gestoppt. Blöd, wenn man dann bei bestem Wetter zum Ausweichflughafen fliegen muss, weil man für so eine Verzögerung natürlich nicht getankt hat.

Zwangs-ID für Drohnen

Es zeichnet sich ab, dass die Regulierung der Drohnen bald einen wichtigen Schritt weitergehen wird. Die Forderungen gehen dahin, dass alle Drohnen ab einer bestimmten Klasse mit einem Sender ausgestattet sind, die deren Ortung ermöglicht.
Endlich scheint man zu begreifen, dass mit Drohnen das Konzept „See and Avoid“ niemals sicher funktionieren wird. Der einzige Weg aus der Kollisionsgefahr wird wohl in einiger Zukunft in einem automatischen Ausweichen bestehen.
Das finde ich einen Weg in die richtige Richtung. Einige Unternehmen positionieren sich bereits für ein riesiges Geschäft in diesem Sektor. So haben die Schweizer Entwickler des FLARM-Kollisionswarnsystems die ersten

FLARM-Installationen bei Drohnenherstellern positionieren können und sehen in FLARM die einzige verfügbare Technologie für die von der FAA geplante UAS Remote ID (UAS: unmanned air system). FLARM plant auch die Koppelung mit Autopiloten, die mit FLARM ausgerüsteten Drohnen ein automatisches Ausweichen ermöglichen.
Das freut mich persönlich natürlich sehr, denn meine Arrow ist mit PowerFLARM ausgerüstet und ich könnte solche Drohnen sehen.
Dennoch kann das keine endgültige Lösung sein. Verkehrsflugzeuge haben kein FLARM. Eine mit FLARM ausgerüstete Drohne kann meinen A380 nicht „sehen“ und auch nicht ausweichen.

Die geplante Zwangs-ID für Drohnen wirft wieder einmal ein Schlaglicht auf die nicht kompatiblen Kollisionswarnsysteme auf diesem Planeten. Es gibt TCAS, das mit herkömmlichen Transpondern arbeitet und das fast nur in Verkehrsflugzeugen eingebaut ist. Dann gibt es FLARM, das nach Aussage der Entwickler bereits in 35.000 „Motorflugzeugen, Hubschraubern, Segelflugzeugen und Drohnen“ eingebaut ist. Nahezu 100 % aller Segelflugzeuge in Mitteleuropa sollen FLARM verwenden. Dann gibt es ADS-B, diese Technologie wird in den USA ab 2020 verpflichtend, wird aber selbst wieder in unterschiedlichen, nicht kompatiblen Systemen implementiert. Immer mehr Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt – auch in Europa – haben neben einem Transponder auch ein ADS-B-Signal, das sich hervorragend für Kollisionswarnsysteme eignet.
Ich finde, es wird höchste Zeit, sich für alle Luftfahrzeuge auf einen Standard für ein Kollisionswarnsystem zu einigen. Ich denke, das kann nur auf ADS-B-Basis geschehen. FLARM wurde ja nur entwickelt, weil herkömmliche Transponder zu schwer und zu stromhungrig für Segelflugzeuge waren. Durch die Zwangsausrüstung mit ADS-B in den USA gibt es mittlerweile sehr preiswerte zigarettenschachtelgroße ADS-B-Geräte, die sogar schon in Positionslichtern integriert werden. Und da gehören sie ja eigentlich auch hin, denn ein ADS-B-Signal ist das elektronische Äquivalent eines Positionslichts, das ein Flugzeug für andere plötzlich auf dem Display sichtbar macht.
Es ist bei zunehmendem Luftverkehr nicht mehr nachzuvollziehen, dass zwar für Nachflüge für alle Luftfahrtzeuge Positionslichter vorgeschrieben sind, elektronisch aber dieselben Flugzeuge unsichtbar bleiben.

Für einen sicheren Flugbetrieb der bemannten Luftfahrt ist eine nicht abschaltbare Zwangs-ID für Drohnen auf jeden Fall eine Verbesserung. Auch ohne automatische Ausweichfunktion. Kein Drohnen-Operator wird sich mehr trauen, mit einer Drohne in einer Kontrollzone zu fliegen, wenn er weiß, dass die Polizei schon vor seiner Türe steht, noch bevor er mit seiner Drohne wieder zu Hause ist.

Fazit und Empfehlungen für Piloten

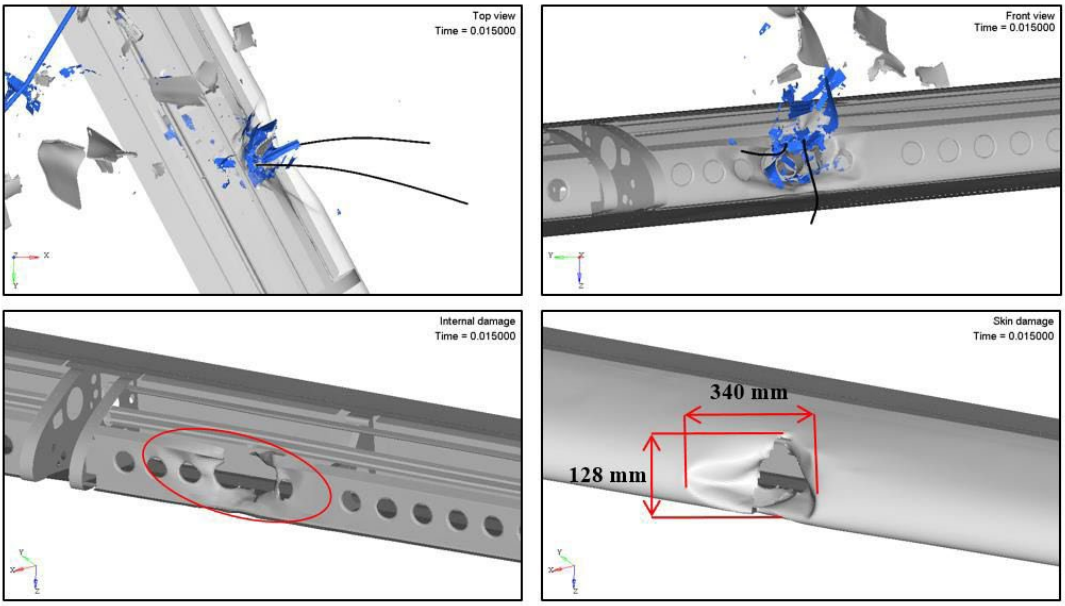
Man muss nicht in einem Kriegsgebiet leben, um von einer Drohne getötet zu werden. Drohnen stellen eine enorme Bedrohung für die bemannte Luftfahrt dar. Ein Vogelschlag ist nichts verglichen mit der Kollision mit einer Drohne. Es gibt wenig, was ein Pilot tun kann. Gutes Scannen des Luftraums ist wichtig, doch eine kleine Drohne ist visuell nur schwer auszumachen.

Es gibt einige Maßnahmen, die ein Pilot ergreifen kann, um das Risiko zu minimieren:

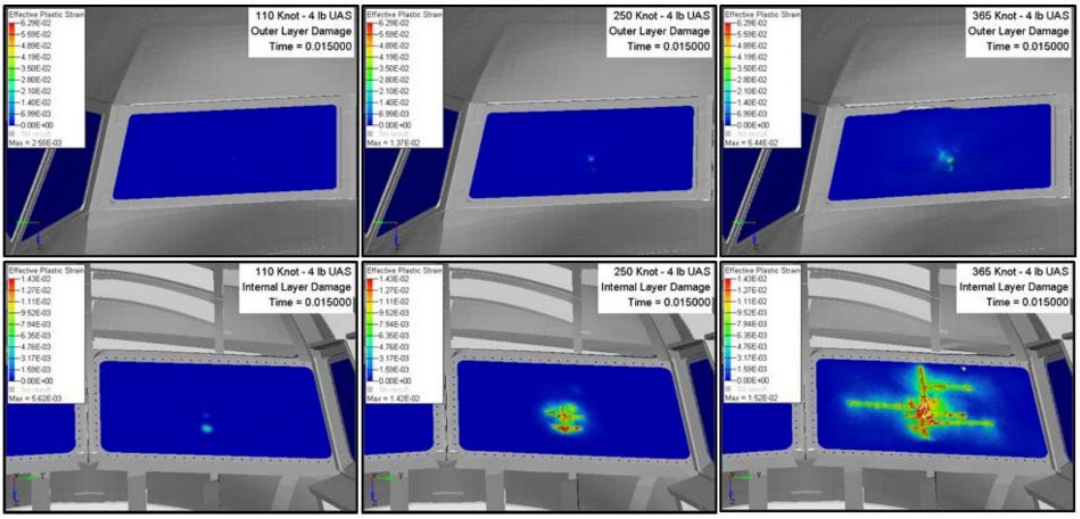
Lufträume vermeiden, in denen mit Drohnen zu rechnen ist. Ebenso wie man nicht im Tiefflug über Vogelschutzgebiete fliegen sollte, schützt eine angemessene Höhe über Gebieten, in denen mit Drohnen zu rechnen ist, vor einer möglichen Kollision. Solche Gebiete sind z. B. Sehenswürdigkeiten wie Schlösser oder Burgen, sportliche Großveranstaltungen, Katastrophengebiete wie Unfallstellen, Überschwemmungsgebiete, Waldbrände etc.

Die Fluggeschwindigkeit dem Luftraum und der Flughöhe entsprechend reduzieren. Gerne erinnere ich mich an die sportlichen Zeiten, als ich als Boeing 737 Kapitän mit über 300 Knoten in Stockholm bis runter auf Platzrundenhöhe in den Queranflug eingeflogen bin. Was für schöne Anflüge! Diese Zeiten sind für mich schon lange vorbei. Seit ich mich intensiver mit dem Thema Vogelschlag und seit einiger Zeit mit den Drohnen beschäftige, fliege ich mit dem Airbus A380 unter 10.000 Fuß Höhe nicht schneller als 250 Knoten. Auch dann, wenn uns die Flugsicherung manchmal gerne schneller haben möchte. Das 250 Knoten Limit unter 10.000 Fuß wurde früher zur Reduzierung des Kollisionsrisikos eingeführt (nach dem Zusammenstoß zweier Verkehrsflugzeuge über New York). Heute hält es die Flugsicherung nicht mehr unbedingt für erforderlich. Dennoch minimiert die niedrigere Geschwindigkeit deutlich die Folgen eines möglichen Vogelschlags und auch die Schäden bei einem Drohnen-Treffer.

Begegnungen mit Drohnen melden. Begegnen Sie im Flug einer Drohne, melden



Externe/interne Schäden an der Tragfläche eines Verkehrsflugzeugs nach der Kollision mit einer 1,8 kg Fixed-Wing-Drohne bei 250 Knoten **Simulation, ASSURE-Programm**



Externe/interne Schäden an der Cockpitscheibe eines Verkehrsflugzeugs nach der Kollision mit einer 1,8 kg Fixed-Wing-Drohne bei 110/250/365 Knoten (oben: äußere Schicht, unten: innere Schicht). 250 kts IAS sind in 10.000 ft bereits 290 kts TAS. Simulation, ASSURE-Programm

Sie das der Flugsicherung, der Luftaufsicht oder dem Fluginformationsdienst. So können andere Piloten von Ihrer Beobachtung profitieren und vielleicht noch ausweichen.

Wir werden die Drohnen nicht mehr los. Aber es gibt Hoffnung. Jeder Pilot kann dazu beitragen, die Menschen in seinem Umfeld, die Interesse an Drohnen haben, zu sensibilisieren. Es ist wichtig, dass sich diese Personen mit den Regeln für sicheres Fliegen mit Drohnen beschäftigen.
Die Kennzeichnung – und vor allem die Zwangs-ID für Drohnen – wird die aktuell unsichere Situation deutlich entschärfen und die Zahl der schwarzen Schafe unter den Drohnen-Operator weiter reduzieren. Bis dahin werden wir uns noch etwas gedulden müssen und sollten – wie immer – gut aus dem Cockpitfenster schauen.

PeterKlant@Lindbergh-aviation.de

Einige Quellen und Literatur:

ASSURE UAS Airborne Collision Severity Evaluation Final Report
Mississippi State University
http://www.assureuas.org/projects/deliverables/sUASAirborneCollisionReport.php

Drone collisions with aircraft modeled
By Jim Moore, AOPA, November 29, 2017
https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2017/november/29/drone-collisions-with-aircraft-modeled

ASN Drone Database
Aviation Safety Network - Flight Safety Foundation
https://aviation-safety.net/database/issue/dronedb.php

17 cases of confirmed or suspected drone collisions with aircraft
Aviation Safety Network - Flight Safety Foundation
https://aviation-safety.net/database/issue/drones.php

Chinese authorities test drone-aircraft collision China Social Platforms Article
http://www.sangbe.com/article/122794.html

Reports on near collision / collision with drones Aviation Herald
http://avherald.com/h?search_term=drone&opt=4096&dosearch=1&search.x=0&search.y=0

What Really Happens When a Drone Strikes an Airplane
Drones strikes are not like bird strikes—they're much, much worse.
by David Humbling, Popular Mechanic, December 22, 2016
https://www.popularmechanics.com/flight/drones/a24467/drone-plane-collision/

Here's How Drones Do (and Don't) Threaten Passenger Aircraft
Quadcopter crashes with a helicopter and plane—the first-ever in the U.S. and Canada, respectively—show that such encounters are no longer hypothetical
by Jeremy Hsu, Scientific American, November 8, 2017
https://www.scientificamerican.com/article/here-rsquo-s-how-drones-do-and-don-rsquo-t-threaten-passenger-aircraft/

Drone hits British Airways plane as it prepares to land at Heathrow
The Telegraph, 18 April, 2016
http://www.telegraph.co.uk/news/2016/04/17/drone-hits-british-airways-plane/

Integrating Drones Safely
European Cockpit Association (ECA) – Piloting Safety
https://www.eurocockpit.be/campaign/integrating-drones-safely

EASA 'Drone Collision' Task Force
Final Report, (04/10/16)
https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/TF%20Drone%20Collision_Report%20for%20Publication%20(005).pdf

Kollision G190B mit 10 kg Flugmodell
BFU Unfallbericht 3X306-1/2/97 vom März 1999
https://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/1997/Bericht_97_3X306-1-2.pdf?__blob=publicationFile

Drohnenanwendungen:
https://heighttech.com/individual/projekt-romeo/

Drone Sightings and Close Encounters
Center for the Study of the Drone at Bard College, New York
http://dronecenter.bard.edu/files/2015/12/12-11-Drone-Sightings-and-Close-Encounters.pdf

DJI Introduces New Geofencing System for its Drones
DJI System for the Phantom 3 Drone
https://www.dji.com/newsroom/news/dji-fly-safe-system

Heliguy's Guide to Geofencing
Blog by John Patterson
https://www.heliguy.com/blog/2017/02/16/heliguys-guide-to-geofencing/

Small remotely piloted aircraft systems (drones): mid-air collision study
UK Studie von 2016 im Auftrag von: MAA (Military Aviation Authority), BALPA (British Airline Pilots Association) und Department for Transport
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/628092/small-remotely-piloted-aircraft-systems-drones-mid-air-collision-study.pdf

Midair Collision DJI Phantom - Sikorsky UH-60M Black Hawk
NTSB Final Report
https://app.ntsb.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20170922X54600&AKey=1&RType=HTML&IType=IA