AOPA GERMANY

SAFETY LETTER

© Torsten Meier

ÜBERZIEHEN UND TRUDELN

Nr. 34, Dezember 2017

Unbeabsichtigtes Überziehen (Stall) ist oft tödlich. Nach US-amerikanischen Angaben enden Überziehunfälle sehr viel öfter tödlich als andere Flugunfälle. Piloten wird in der Ausbildung zwar beigebracht, einen Stall zu erkennen, zu vermeiden und sicher zu beenden, aber trotzdem machen Unfälle durch Überziehen beinahe 25 % von tödlichen Flugunfällen aus, und davon die meisten in der Allgemeinen Luftfahrt.

Die überwiegende Mehrheit der Überziehunfälle passiert in VMC, überraschenderweise häufiger während der Abflugphase (Start, Steigflug und Durchstarten) als in der Anflugphase.

Das AOPA Air Safety Institute hat über eine Periode von 15 Jahren Überziehunfälle in den USA untersucht und das Ergebnis in der Studie „Stall and Spin Accident: Keep the Wings Flying" veröffentlicht. Mit Genehmigung des Institutes werden hier Auszüge in deutscher Fassung wiedergegeben.

EINFÜHRUNG

Das AOPA Air Safety Institute hat 2.015 Unfälle, die in den USA im Zeitraum von 2000 bis 2014 passierten und bei denen das Überziehen des Flugzeugs die Ursache war, untersucht und die Ergebnisse in der Studie „Stall and Spin: Keep the Wings Flying" veröffentlicht. Untersucht wurden Unfälle aus allen Bereichen der Luftfahrt, sowohl Unfälle bei nicht-gewerblichen Flügen als auch bei gewerblichen Flügen mit Linien- und Frachtflugzeugen. Das Ergebnis: Beinahe 95% (1.901) der Unfälle passierten bei nicht-gewerblichen Flügen, einschließlich 911 der 945 tödlichen Unfälle (96%). Obwohl eine Verringerung der Häufigkeit dieser Art von Unfällen in den letzten Jahren zu einer Verbesserung der Unfallrate in der Allgemeinen Luftfahrt insgesamt geführt hat, geschahen im Zeitraum zwischen 2010 und 2014 noch beinahe 200 tödliche Unfälle durch Überziehen.

Trotz aller Bemühungen, während der Flugausbildung und bei Checkflügen ein besonderes Augenmerk auf das Überziehen und das Zurückführen des Flugzeugs in eine sichere Fluglage (Recovery) zu richten, bleiben unbeabsichtigte Stalls eine der Hauptursachen für tödliche Unfälle mit Leichtflugzeugen. In den 15 untersuchten Jahren waren Stalls bei 10% aller nicht-gewerblichen Flugunfälle die Ursache, aber bei beinahe

24% von tödlichen Unfällen. Beinahe die Hälfte der untersuchten Überziehunfälle endete tödlich verglichen mit „nur“ 17% bei anderen Flugunfällen.

Beinahe drei Viertel der Überziehunfälle bei nicht-gewerblichen Flügen (74%) geschahen bei selbst durchgeführten Flügen (in der Studie als „personal flights“ bezeichnet), 13% bei Flügen mit Fluglehrer. Aber Überziehunfälle waren sehr viel öfter tödlich: Beinahe die Hälfte (48%) der selbst durchgeführten Flüge und 38% von Flügen mit Fluglehrer endeten tödlich.

Der Bericht des Air Safety Institutes identifiziert gewöhnliche Flugsituationen, die zu einem unabsichtlichen Überziehen führen und empfiehlt, einige Änderungen in der Pilotenausbildung vorzunehmen. Überziehunfälle rühren oft von ungenauen Steuerausschlägen und einem geringen Verständnis der Aerodynamik her; das bedeutet, dass ein verbessertes Pilotentraining, das sich auf die herausgefundenen Ursachen konzentriert, die Anzahl der ungewollten Stalls weiter reduzieren wird.

Die weiterhin hohe Anzahl von Überziehunfällen bei persönlich durchgeführten Flügen zeigt offensichtlich eine besondere Schwachstelle im typischen Pilotentraining. Den meisten Piloten wird beigebracht, das Überziehen zu erkennen und zu beenden – und das in einer kontrollierten, vorhersehbaren und stabilen Flugsituation. Der Fokus liegt auf dem Erkennen des überzogenen Flugzustandes, auf der Reaktion des Flugzeugs und der richtigen Technik, den überzogenen Flugzustand zu beenden. Außerhalb der Trainingssituation jedoch geschieht es weiterhin, dass Piloten unerwartet in den überzogenen Flugzustand geraten und dabei nur wenig Zeit verbleibt, in eine sichere und stabile Fluglage zurückzukehren. Scheinbar fliegen einige Piloten näher am kritischen Anstellwinkel als ihnen bewusst ist. Ein bisschen mehr Querlage, größere G-Kräfte oder beides zusammen können unvermittelt einen Stall verursachen, der nichts mit dem in der Flugausbildung geübten langsamen und vorhersehbar erzeugten Überziehvorgang zu tun hat.

FLUGBEDINGUNGEN

90% der untersuchten Überziehunfälle fanden während des Tages bei Sichtflugwetterbedingungen (VMC) statt, etwas höher als die 84% der Unfälle, die nicht durch Überziehen verursacht wurden. Nur ein Drittel der Überziehunfälle geschah bei einer Windstärke von mehr als 10 kt oder bei Böen von mindestens 5 kt, oder bei Wind und Böen gleichzeitig. Dieser Anteil war bei gewerblichen wie bei nicht-gewerblichen Flügen gleich, und der Einfluss von Wind hatte keinen Einfluss auf die Todesrate, die in beiden Fällen bei 48% lag.

PILOTENQUALIFIKATION

Der Grad der Qualifikation von Piloten bei Überziehunfällen spiegelt die Unfallverteilung insgesamt wider. Beinahe die Hälfte (46%) waren Privatpiloten; 31% besaßen eine Berufspilotenlizenz, und 13% waren Linienpiloten. 5% der Unfälle durch Überziehen geschahen beim Alleinflug in der Pilotenausbildung.

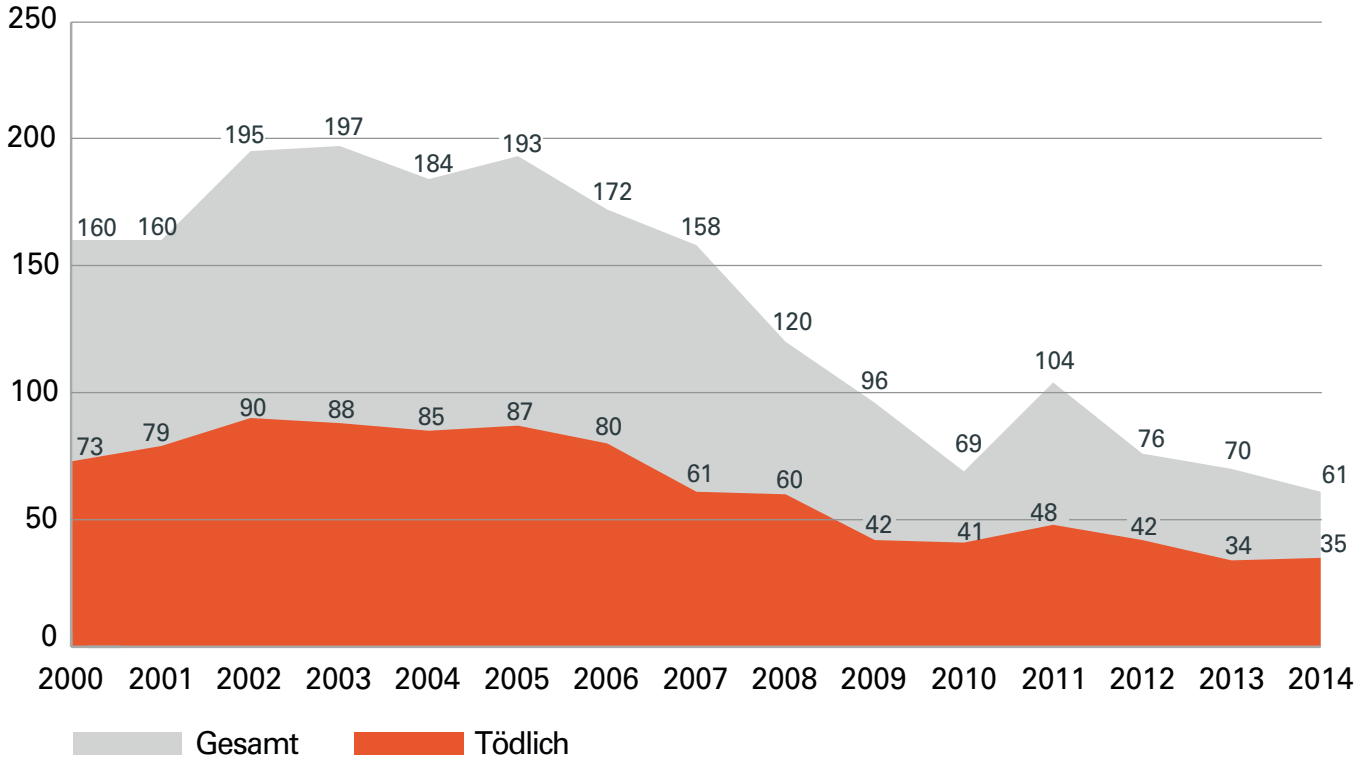
Der tödliche Ausgang steigt mit der Qualifikation: 22% der Unfälle durch Überziehen mit Pilotenschülern waren tödlich, 36% mit Sportpiloten, 47% mit Privatpiloten, 51% mit Berufspiloten und 56% mit Linienpiloten. Diese Verteilung ist auch typisch bei anderen Unfallarten, wahrscheinlich aufgrund der größeren Fähigkeit erfahrener Piloten kleine, weniger kritische Unfälle während des normalen Flugbetriebs, insbesondere bei Start und Landung, zu vermeiden.

FLUGZEUGTYPEN

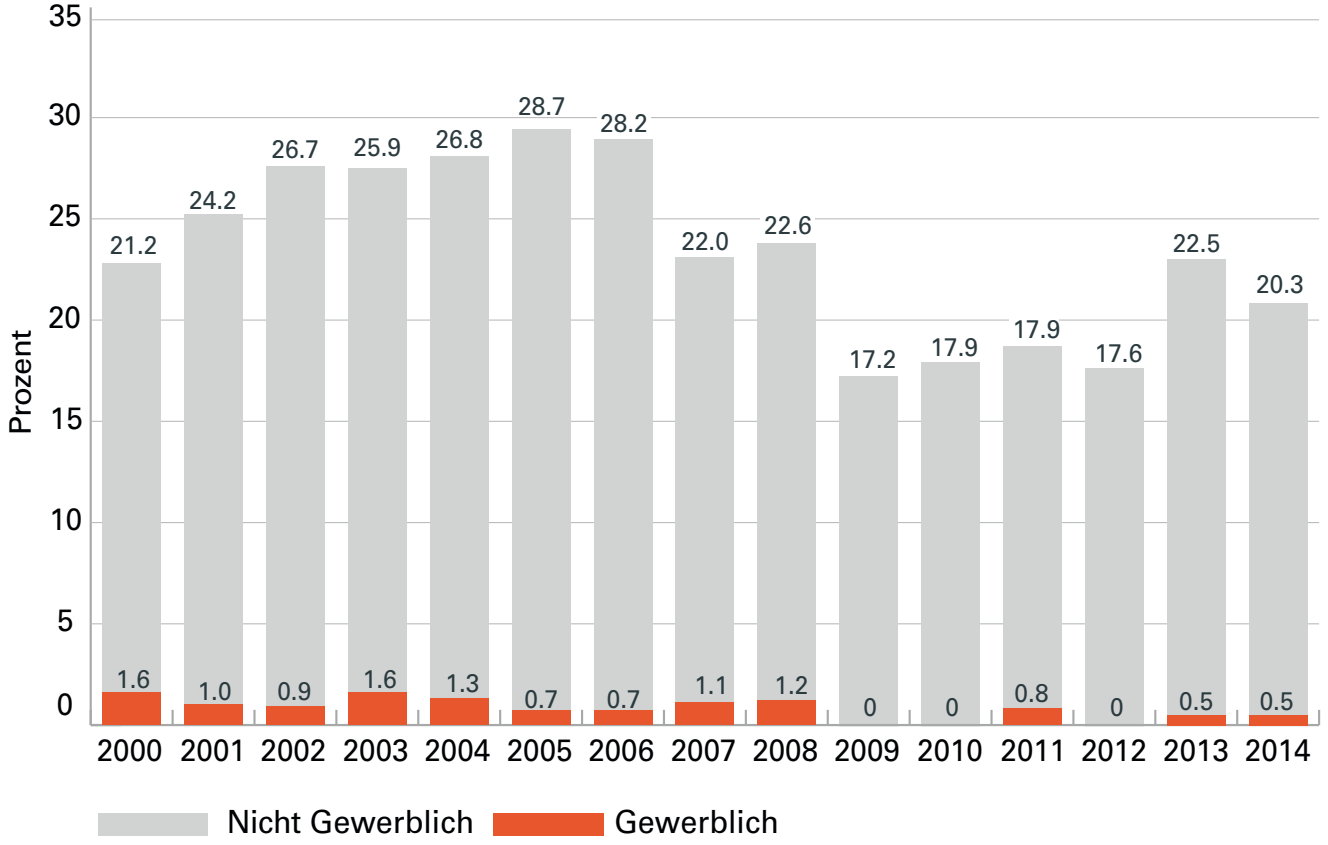
Beinahe 90% der Überziehunfälle im nicht-gewerblichen Bereich passierten mit einmotorigen Flugzeugen mit Kolbentriebwerken, davon etwa 80% mit festem Fahrwerk. In 6% der Fälle waren zweimotorige Flugzeuge mit Kolbentriebwerken und in 4% zweimotorige Flugzeuge mit Turbinentriebwerken betroffen. In beiden Fällen stieg die Todesrate mit der Geschwindigkeit und der Komplexität des Luftfahrzeugs. Sie war am geringsten bei einmotorigen Flugzeugen mit Kolbentriebwerk und festem Fahrwerk und am höchsten bei mehrmotorigen Flugzeugen mit Turbinentriebwerken. Jedoch war in allen Fällen das Risiko, getötet zu werden, bei Überziehunfällen 2,5 bis 3 Mal so hoch wie bei Unfällen, die nicht durch Überziehen hervorgerufen wurden.

43% der Überziehunfälle mit einmotorigen Flugzeugen mit festem Fahrwerk endeten tödlich, verglichen mit weniger als 13% mit allen anderen Flugzeugtypen.

Jährliche Anzahl von Überziehunfällen, 2000-2014



Prozentualer Anteil der Überziehunfälle in Bezug zu allen tödlichen Unfällen mit Luftfahrzeugen mit starrem Flügel



FLUGKATEGORIEN

Flüge mit Fluglehrer

Starts (19%), Landungen (18%) und Durchstarten (15%) waren zusammen für mehr als die Hälfte der Überziehunfälle bei Ausbildungsflügen verantwortlich, aber sie waren meist überlebbar: 35% der Unfälle beim Start und weniger als 14% beim Durchstarten und 7% der Überziehunfälle beim Landen verursachten Tote. Dagegen endeten zwei Drittel von Überziehunfällen bei besonderen Flugmanövern (in der Studie als „maneuvering flight" bezeichnet) tödlich. Notfallübungen, insbesondere simulierter Triebwerksausfall, waren für die Hälfte dieser Unfälle und für 40% von Todesfällen bei besonderen Flugmanövern verantwortlich. Nur 6% der Überziehunfälle in dieser Kategorie wurden durch tatsächliche Triebwerksausfälle oder andere mechanische Fehler und 3% wegen Kraftstoffmangels verursacht.

Bei Ausbildungsflügen geschahen tödliche Überziehunfälle häufiger während bewusst in geringer Höhe durchgeführter Flugmanöver, aber auch bei dem Versuch, im Steigflug aus ansteigendem Gelände zu gelangen. Mehr als drei Viertel dieser Art von Überziehunfällen endeten tödlich, ebenso sechs Unfälle bei Kunstflug. Zusammen waren dies 38% von tödlichen Unfällen in der Kategorie „Flugmanöver bei Ausbildungsflügen". Nur vier (drei tödliche) Fälle sind bekannt, bei denen das Üben von Langsamflug oder Überziehen zu Unfällen führten, ein fünfter Unfall ereignete sich während einer Trudelübung zur Erlangung der Fluglehrerlizenz. Fünf weitere Überziehunfälle passierten während Überprüfungs- bzw. Checkflügen, aber es konnte in diesen Fällen nicht festgestellt werden, welche Manöver zu den Unfällen führten.

Persönlich durchgeführte Flüge

Die größte Anzahl von Überziehunfällen bei persönlich (selbständig) durchgeführten Flügen passierte während der Startphase und dem Anfangssteigflug. Dies machte 26% aller 22% von tödlichen Überziehunfällen aus. Auf der anderen Seite waren Unfälle während der Landung und beim Durchstarten relativ selten, 10% bzw. 9% Tote gab es bei beinahe 40% der Unfälle beim Start und 30% beim Durchstarten, aber nur weniger als 10% beim Landeversuch. Triebwerksausfall und andere mechanische Probleme führten zu 10% und Treibstoffmissmanagement zu weiteren 5%. Etwas über die Hälfte dieser Notfälle (52%) endete tödlich. 18 der 19 Unfälle während eines IFR-Fluges in Instrumentenflugwetterbedingungen (IMC) und 15 von 17 VFR-Flügen in IMC waren ebenfalls tödlich, insgesamt 5% aller tödlichen Überziehunfälle bei persönlichen Flügen.

„Flugmanöverunfälle" bei persönlich durchgeführten Flügen waren vor allem verursacht durch abruptes Hochziehen (37%, tödlich als auch nicht tödlich) oder Steilkurven (30%, davon 32% mit tödlichem Ausgang) in so geringen Höhen, dass ein Zurückführen in eine sichere Fluglage nicht mehr möglich war.

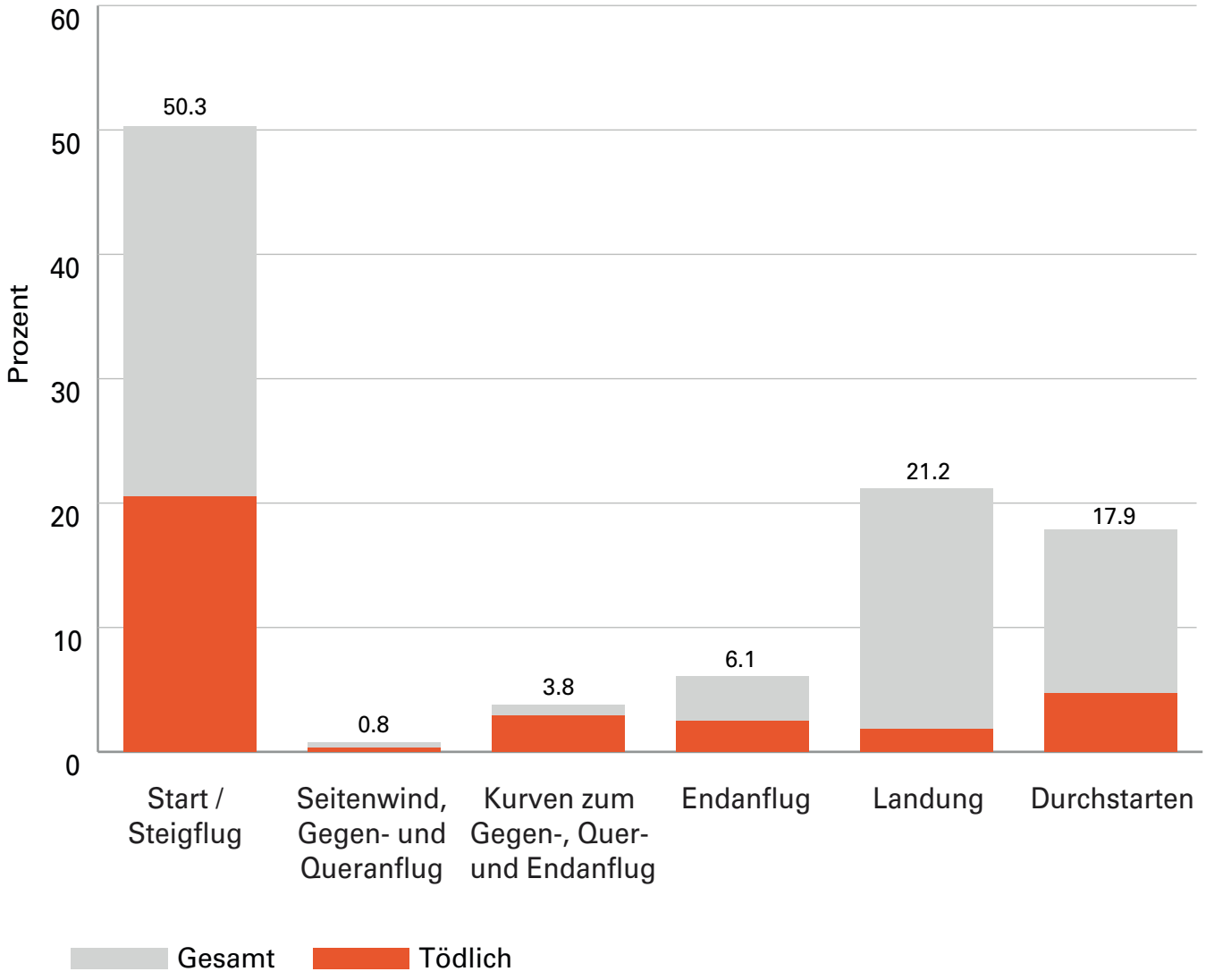
Dem abrupten Hochziehen geht meist ein Flug mit hoher Geschwindigkeit in geringer Höhe voraus, während „typische" Steilkurven dadurch gekennzeichnet sind, dass versucht wird, langsame, enge Kurven um einen bestimmten Punkt am Boden zu fliegen. Solche akrobatischen Flugmanöver verursachten 13% der Überziehunfälle, aber 18% der tödlichen Unfälle: beinahe 90% dieser Abstürze endeten tödlich.

ÜBERZIEHEN IN DER PLATZRUNDE

Etwas mehr als die Hälfte (51%) aller Überziehunfälle bei nicht-gewerblichen Flügen passierten in der Platzrunde, einschließlich Start, Landung und Durchstarten. Stalls während der Landung verliefen meist glimpflich (mit einem tödlichen Ausgang bei nur 8%); für die anderen Teile der Platzrunde trifft das jedoch nicht zu. 25% von Stalls während des Durchstartens, 40% beim Start und anschließendem Steigflug auf Platzrundenhöhe, und 54% zwischen Eindrehen in den Querabflug und Eindrehen in den Endanflug waren tödlich.

Die Anzahl der Stalls während der Kurve vom Gegenanflug zum Queranflug und vom Queranflug zum Endanflug war weniger als erwartet, weniger als 4% bezogen auf die Unfälle in der Platzrunde. Zwei Drittel der Überziehunfälle während der Kurve vom Gegenanflug zum Queranflug und 80% während der Kurve vom Queranflug zum Endanflug verursachten den Tod von jemandem an Bord. Überziehunfälle im Endanflug – einige bei der Durchführung einer S-Kurve oder einer 360°-Kurve zur Verlangsamung des Flugzeugs, um Abstand zum vorausfliegenden Verkehr zu halten – geschahen öfter (6% bezogen auf die Gesamtzahl) mit einem tödlichen Ausgang bei 40%.

Aufteilung der Überziehunfälle bei nicht-gewerblichen Flügen in der Platzrunde



Die Überlebenschance für die Flugzeuginsassen hing besonders von der Anfangshöhe des Stalls ab. Bei 545 Unfällen konnte die Anfangshöhe mit großer Wahrscheinlichkeit bestimmt werden. In 85% von diesen Unfällen geschah das Überziehen bei 50 ft oder weniger und jeder an Bord des Flugzeugs überlebte. Anders in größeren Höhen: zwischen 50 und 100 ft überlebte nur die Hälfte; bei Überziehunfällen zwischen 100 und 200 ft endeten zwei Drittel tödlich; bei Überziehunfällen zwischen 200 und 500 ft waren es drei Viertel. Bei Anfangshöhen zwischen 500 und 1.000 ft nahm die Todesrate leicht ab, auf 63%, stieg aber bis auf 90% an, wenn es Piloten nach dem Überziehen in über 1.000 ft über Grund nicht schafften, in einen sicheren Flugzustand zurückzukehren.

ÜBERZIEHEN, TRUDELN UND WIEDERHERSTELLUNG EINER SICHEREN FLUGLAGE

Obwohl der Strömungsverlauf und der gesamte Vorgang beim Überziehen und Trudeln seit langem erforscht und bekannt ist, haben viele Piloten keine klare Vorstellung davon, was wirklich passiert. Entsprechendes Training kann helfen, das Bewusstsein für das Erkennen eines Stalls zu schärfen, und dazu beitragen, ungewolltes Überziehen zu vermeiden insbesondere in Höhen, die zu gering sind, um wieder in eine sichere Fluglage zurückkehren zu können.

Die Größe des Auftriebs, den ein Tragflügel produziert, hängt von der Fluggeschwindigkeit und dem Anstellwinkel ab. Während der Auftrieb mit der Fluggeschwindigkeit kontinuierlich zunimmt, erhöht der zunehmende Anstellwinkel den Auftrieb nur bis zu einem gewissen Punkt. Jeder Tragflügel hat einen kritischen Anstellwinkel, der konstant bleibt, unabhängig von der Fluggeschwindigkeit, der Fluglage und dem Flugzeuggewicht. Wenn der Anstellwinkel diesen kritischen Wert übersteigt, wird die anliegende Strömung oberhalb des Tragflügels gestört, wird schließlich turbulent, und der Auftrieb bricht plötzlich zusammen, was als aerodynamisches Überziehen bezeichnet wird.

Die Fluggeschwindigkeit kann bis zu einem bestimmten Maß als „Ersatz" für den Anstellwinkel dienen; aber bei großen Querlagen und/oder extremen Längsneigungen wird die Situation kritisch. Insbesondere abrupte Änderungen der Längsneigung können den Anstellwinkel schneller anwachsen lassen als sie die Fluggeschwindigkeit reduzieren, und es kommt zu einem Überziehen weit über der nominalen Überziehgeschwindigkeit.

Wenn sich das Flugzeug im koordinierten Geradeausflug befindet, überziehen beide Tragflügel zur gleichen Zeit und die Flugzeugnase kippt mehr oder weniger nach vorne. Eine sofortige Reduzierung des Anstellwinkels lässt das Flugzeug schnell in eine sichere Fluglage zurückkehren und der Höhenverlust beträgt normalerweise 100 bis 350 ft. Wenn sich das Flugzeug beim Überziehen allerdings um die Hochachse dreht, so wird die Strömung an dem in der Kurve nach innen gerichtete Tragflügel früher abreißen als bei dem nach außen gerichteten Tragflügel und damit ein Trudeln hervorrufen. Je mehr Auftrieb am nach außen gerichteten, noch angeströmten Tragflügel erzeugt wird, umso größer wird die Querneigung, die Flugzeugnase neigt sich steil nach unten und das Flugzeug gerät in eine schnelle Rotation nach unten. Nicht nur ist der Anfangshöhenverlust in diesem Fall sehr viel größer, bei vielen Leichtflugzeugen meist mindestens 1.000 ft; auch ist die Heftigkeit, mit der die Flugzeugnase nach unten kippt, und die hohe Rotationsgeschwindigkeit verwirrend und furchterregend, und kann schnell in einen unkontrollierbaren Flugzustand führen.

Wenn im Flughandbuch eine Technik für die Rückführung des Flugzeugs aus einem Trudelvorgang zurück in eine sichere Fluglage beschrieben ist, so sollte man dieses Verfahren anwenden. Ist kein spezielles Verfahren beschrieben, so sollte man das nachfolgende, von der NASA empfohlene Verfahren, das für viele Flugzeugtypen gilt, anwenden:

- LEISTUNG – Leerlauf.
- QUERRUDER – Neutral.
- SEITENRUDER – Vollausschlag gegen die Trudelrichtung, um das Trudeln zu stoppen, dann neutral.
- HÖHENRUDER – Nach vorne, um das Überziehen zu beenden, dann den Sturzflug beenden und das Flugzeug in eine sichere Fluglage bringen (dabei das Höhenruder nicht zu stark ziehen, um nicht wieder in einen überzogenen Flugzustand zu geraten).

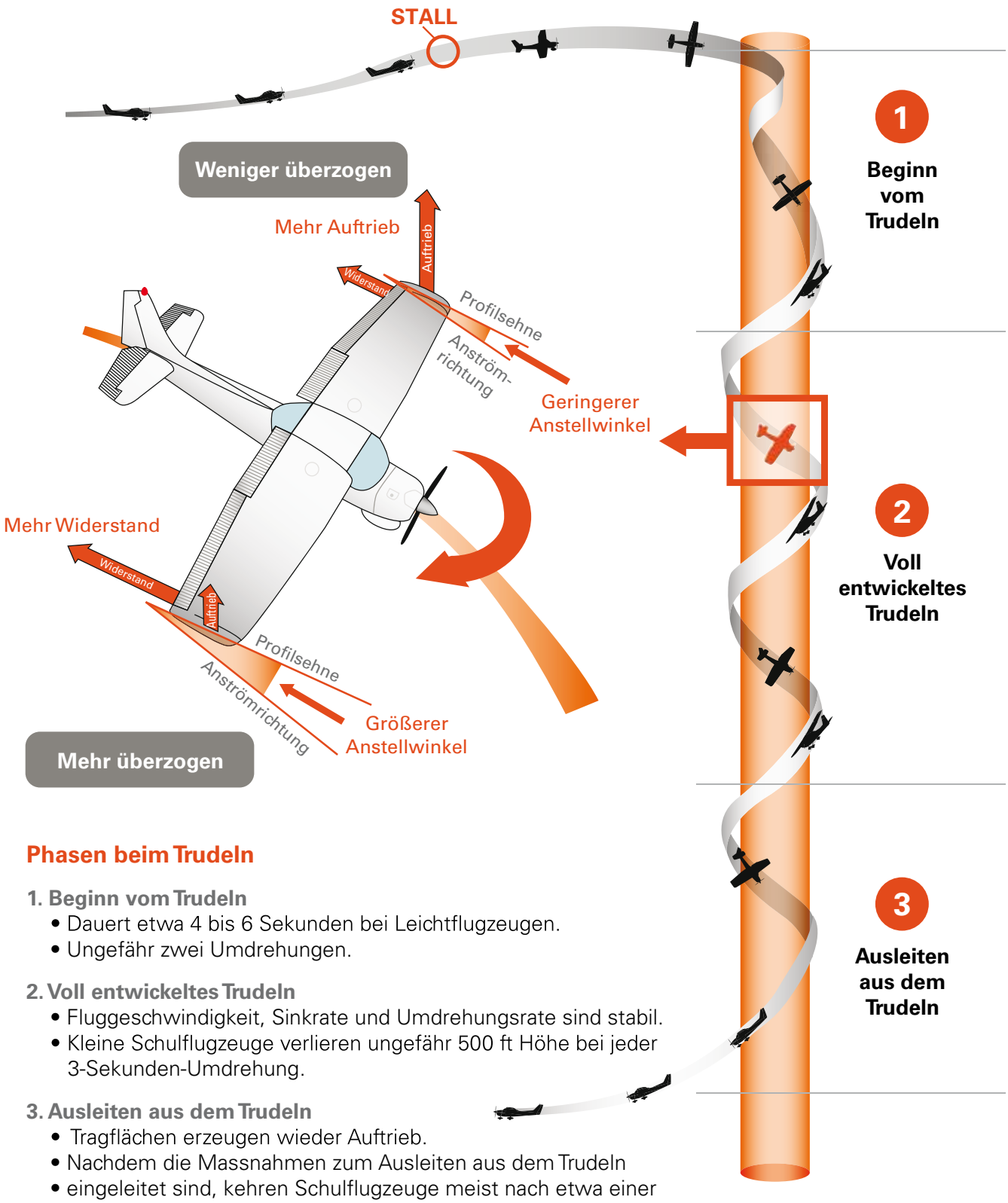
Denken Sie jedoch daran, dass auch bei Anwendung eines perfekten Verfahrens zur Wiederherstellung einer sicheren Fluglage, der Höhenverlust während des gesamten Vorgangs durchaus über 1.000 ft betragen kann.

VORBEUGEN

Änderungen von Bestimmungen in den letzten Jahren haben die Installation von elektronischen oder elektromechanischen Anstellwinkelanzeiger enorm vereinfacht. Zusätzlich zur Warnung vor einem unbeabsichtigten Überziehen in geringer Flughöhe, können Anstellwinkelanzeiger helfen, die Präzision beim Betrieb auf kurzen und unbefestigten Pisten zu erhöhen, da der Pilot den exakten Anstellwinkel einhalten kann, um mit maximalem Auftrieb bei geringst möglicher Geschwindigkeit zu landen und zu starten. Ein Nachteil ist jedoch, dass der Anstellwinkelanzeiger nur an einer Stelle eines Tragflügels angebracht ist. Dadurch kann es passieren, dass der andere Tragflügel schon überzieht bevor der überwachte Tragflügel das tut.

Auch wenn Anstellwinkelanzeiger sicherlich nützlich sind, so sind Piloten über ein Jahrhundert auch ohne sie sicher geflogen. Einige einfache Regeln, wenn sie konsequent befolgt werden, werden das Risiko eines unbeabsichtigten Überziehens minimieren:

- Vermeiden Sie abrupte Änderungen der Längs- oder Querneigung unterhalb 1.000 ft über Grund. Denken Sie daran, dass dieses „Beschleunigungs-



Phasen beim Trudeln

1. Beginn vom Trudeln
- Dauert etwa 4 bis 6 Sekunden bei Leichtflugzeugen.
- Ungefähr zwei Umdrehungen.

2. Voll entwickeltes Trudeln
- Fluggeschwindigkeit, Sinkrate und Umdrehungsrate sind stabil.
- Kleine Schulflugzeuge verlieren ungefähr 500 ft Höhe bei jeder 3-Sekunden-Umdrehung.

3. Ausleiten aus dem Trudeln
- Tragflächen erzeugen wieder Auftrieb.
- Nachdem die Massnahmen zum Ausleiten aus dem Trudeln
- eingeleitet sind, kehren Schulflugzeuge meist nach etwa einer viertel bis halben Umdrehung in den sicheren Flugzustand zurück.

überziehen“ bei höheren Fluggeschwindigkeiten als die im Flughandbuch angegeben Überziehgeschwindigkeiten V_{S0} und V_{S1} passiert.

- Halten Sie eine Flughöhe ein, die Sie sicher über Türme, Hochspannungsleitungen und andere Hindernisse führt.
- Führen Sie Kurven in geringer Höhe koordiniert und mit einer maximalen Querneigung von 30° durch.
- Versuchen Sie nicht, einen instabilen Anflug „zu retten“. Wenn normale, koordinierte Manöver (bei maximal 30° Querneigung) das Flugzeug nicht wieder auf einen stabilen Anflug bis zum Erreichen von 500 ft über Grund zurückführen, starten Sie durch!
- Folgen Sie in der Platzrunde anderen Luftfahrzeugen nicht zu nahe und scheuen Sie sich nicht, eine S-Kurve oder einen Vollkreis zu fliegen, um den nötigen Abstand herzustellen.
- Üben Sie regelmäßig in sicherer Flughöhe das Erkennen und Vermeiden von Überziehen, möglichst mit Fluglehrer. Es ist wichtiger, die ersten Anzeichen eines bevorstehenden Stalls zu erkennen und durch Verringerung des Anstellwinkels prompt zu reagieren als die Zurückführung in eine sichere Fluglage nach einem voll entwickelten Stall zu lernen.
- Trainieren Sie Trudeln mit einem erfahrenen Fluglehrer in einem für das Trudeln zugelassenen Flugzeug, und lernen und erkennen Sie, die Fluglage und die Ruderausschläge, die Trudeln hervorrufen können bevor er sich dann wirklich entwickelt.

TRAININGSSCHWERPUNKT

Die zwei gängigen Übungen, um ein Überziehen des Flugzeugs zu demonstrieren und das Zurückführen in eine sichere Fluglage zu lernen, werden meist im horizontalen Geradeausflug mit den Tragflächen in der Waagerechten durchgeführt. Bei der Übung mit Leerlauf (Power-off Stall) wird das Flugzeug in den Langsamflug gebracht, bevor zusätzlich am Steuer gezogen wird bis das Flugzeug in den überzogenen Flugzustand gerät; dem Flugschüler wird beigebracht, Leistung zu geben und die Längsneigung (Pitch) zu reduzieren, um das Flugzeug wieder zu stabilisieren. Bei einem Überziehen mit Leistung (Power-on Stall) wird die Flugzeugnase angehoben, um den kritischen Anstellwinkel zu erreichen, und dann wird nur die Flugzeugnase nach unten gesenkt, bis das Flugzeug in eine stabile Fluglage zurückkehrt.

Ohne Frage sind diese Übungen sinnvoll, aber es werden dabei einige häufige Fälle in der Platzrunde und bei bestimmten Flugmanövern vergessen: rasche Zunahme der Querlage und Ziehen bei geringer Fluggeschwindigkeit, zusätzlich aufkommende Verstörtheit. Ergebnisse der Studie zeigen eine größere Notwendigkeit in der Allgemeinen Luftfahrt für mehr realistische Überziehübungen, die zeigen, wie schnell der Anstellwinkel und auch die G-Kräfte anwachsen können und wie dabei die Gefahr besteht, die Orientierung zu verlieren. Das Air Safety Institute empfiehlt, diese zusätzlichen Fälle in das Training aufzunehmen, am Boden wie auch in der Luft.

Autor:
Jürgen Mies

Bildnachweis:
Die Graphiken wurden anhand der entsprechenden Vorlagen in der Studie „Stall and Spin: Keep the Wings Flying“ für diesen AOPA Safety Letter neu erstellt.

Quellen:
Dieser AOPA Safety Letter basiert auf der von dem AOPA Air Safety Institute in 2017 veröffentlichten Studie „Stall and Spin: Keep the Wings Flying“ (https://www.aopa.org/-/media/Files/.../Accident.../stall_spin.pdf). Der englische Originaltext wurde frei übersetzt und aufgrund der Länge für diesen AOPA Safety Letter gekürzt.

Haftungsausschluss:
Die Informationen und Daten in diesem AOPA Safety Letter sind vom Autor und der AOPA-Germany sorgfältig erwogen und geprüft. Dennoch kann eine Garantie für Richtigkeit und Vollständigkeit nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors bzw. von AOPA-Germany und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

HERAUSGEBER
AOPA-Germany e.V.
Flugplatz, Haus 10
63329 Egelsbach

www.aopa.de