

Untersuchungsbericht

Identifikation

Art des Ereignisses:	Unfall
Datum:	9. September 2012
Ort:	Backnang-Heiningen
Luftfahrzeug:	Flugzeug
Hersteller / Muster:	Robin / DR 400/180 R
Personenschaden:	drei Personen tödlich verletzt eine Person schwer verletzt
Sachschaden:	Luftfahrzeug zerstört
Drittschaden:	keiner
Informationsquelle:	Untersuchung durch Mitarbeiter der BFU
Aktenzeichen:	BFU 3X134-12

Sachverhalt

Ereignisse und Flugverlauf

Der Pilot startete um 17:08 Uhr¹ vom Sonderlandeplatz Backnang-Heiningen (EDSH) mit drei Fluggästen an Bord im Rahmen einer Luftfahrtveranstaltung zu einem lokalen Rundflug. Nach den Eintragungen im Hauptflugbuch wurden vor diesem Start sieben Rundflüge mit einer Gesamtflugzeit von zwei Stunden durchgeführt. Davor war das Luftfahrzeug vom gleichen Piloten zum Flugplatz überführt worden.

¹ Alle angegebenen Zeiten, soweit nicht anders bezeichnet, entsprechen Ortszeit.

Vor dem Start der DR 400/180 R (DR 400) war eine AN-2 mit Fluggästen zu einem Rundflug gestartet. Danach rollte die DR 400 auf die Grasbahn in Richtung 110° und der Startlauf wurde von mehreren Zeugen beobachtet.

Eine Filmaufnahme zeigt, wie das Luftfahrzeug mit normalem Motorgeräusch nach der Anrollphase abhob und anschließend plötzlich in geringer Höhe eine kontinuierliche Rollbewegung um die Längsachse nach rechts durchführte. Dabei wurde annähernd eine Schräglage von 90° erreicht.



Luftfahrzeug kurz vor dem Aufprall

Foto: Zeuge

Das Luftfahrzeug prallte neben der Piste auf und an der Unfallstelle entstand ein Brand. Rettungskräfte waren vor Ort und bargen nach den Löscharbeiten die Insassen. Zwei Personen wurden tödlich verletzt geborgen und weitere zwei wurden schwer verletzt in ein Krankenhaus transportiert. Von den beiden schwer Verletzten verstarb eine Person im Krankenhaus. Das Luftfahrzeug wurde zerstört.



Unfallstelle

Foto: BFU

Angaben zu Personen

Der 67-jährige Pilot war im Besitz eines deutschen Luffahrscheins für Privatpiloten (PPL(A)), erstmalig ausgestellt 1977, gültig bis 11. Februar 2015. Er war berechtigt, einmotorige kolbengetriebene Landflugzeuge als verantwortlicher Luftfahrzeugführer zu führen und hatte die Berechtigung für Motorsegler (TMG) und Flugzeug-schlepp. In der an der Unfallstelle aufgefundenen Privatpilotenlizenz war für die Berechtigungen SE piston (land) und TMG das Ablaufdatum 4. April 2011 eingetragen.

Die Lizenz war vom Inhaber unter Punkt VII nicht unterschrieben worden. Auf der Rückseite der Lizenz war kein Verlängerungseintrag vermerkt. Auf Nachfrage wurde der Polizei mitgeteilt, dass mit dem Piloten am 2. April 2011 ein Übungsflug gemacht wurde und dieser im Hauptflugbuch des Vereins und in dem persönlichen Flugbuch des Fluglehrers dokumentiert sei.

Zur Flugerfahrung des Piloten können nur eingeschränkt Angaben gemacht werden, da ein Teil der persönlichen Dokumente an der Unfallstelle verbrannte. Nach Angaben der zuständigen Luftfahrtbehörde betrug die Gesamtflugerfahrung des Piloten

bis 2002 mehr als 1 000 Flugstunden. Die Flugerfahrung auf dem betroffenen Muster in den letzten 90 Tagen wurde mit 23 Starts im Bordbuch aufgezeichnet.

Das flugmedizinische Tauglichkeitszeugnis Klasse 2 wurde des Piloten war bis zum 1. März 2013 gültig. Er hatte die Auflage eine Brille zu tragen und eine Ersatzbrille mitzuführen (VDL).

Die Vernehmungen des zuständigen Fliegerarztes und des Hausarztes ergaben, dass dem Fliegerarzt Informationen zu Vorerkrankungen des Luftfahrzeugführers vorenthalten wurden. Neben der Feststellung, dass der Pilot alle 3-4 Wochen auf einen neuen Marcumar-Wert eingestellt werden musste, lagen weitere Befunde beim Hausarzt vor, die dem Fliegerarzt nicht bekannt waren.

Angaben zum Luftfahrzeug

Bei dem betroffenen Muster handelt es sich um ein viersitziges, einmotoriges Flugzeug in Holzbauweise.

Hersteller:	Robin
Baujahr:	1979
Werknummer:	1434
max. Abflugmasse:	1 000 kg
Gesamtflugzeit:	ca. 3 657 Stunden
Triebwerk:	O-360-A3A

Die ermittelte Abflugmasse des Luftfahrzeuges betrug 970 kg. Das Luftfahrzeug war in Deutschland zum Verkehr zugelassen und im Besitz eines Luftsportvereins. Die letzte Lufttüchtigkeitsprüfung erfolgte am 19.07.2012.

Meteorologische Informationen

Zur Unfallzeit herrschten nach Zeugenangaben Sichtflugbedingungen mit geringer Bewölkung und annähernd Windstille. Die Temperaturen am Boden wurden mit ca. 31 °C angegeben und der Luftdruck (QNH) betrug 1 015 hPa. Es lagen keine meteorologischen Besonderheiten vor.

Funkverkehr

Es bestand Funkverbindung zwischen dem Piloten und dem Flugleiter am Flugplatz. Es gab keine Meldung über Besonderheiten oder Probleme vom Piloten. Er erhielt

mit den Angaben zum Start vom Flugleiter die zusätzliche Information „Achtung Wirbelschleppen“.

Angaben zum Flugplatz

Der Sonderlandeplatz Backnang-Heiningen verfügt über eine ca. 500 m lange Grasbahn in der Ausrichtung 29/11. Zur Unfallzeit war die Start- und Landerichtung 11 in Betrieb. Die Flugplatzhöhe beträgt 963 ft über AMSL.

Flugdatenaufzeichnung

Das Luftfahrzeug war weder mit einem Flugdatenschreiber (FDR) noch mit einem Cockpit Voice Recorder (CVR) ausgestattet. Beide Aufzeichnungsgeräte waren nach den gültigen luftrechtlichen Regelungen nicht gefordert.

Unfallstelle und Feststellungen am Luftfahrzeug

Die Unfallstelle befand sich ca. 55 m hinter dem Bahnende südöstlich der Grasbahn 11 auf einer Grünbrache. Das Luftfahrzeug kam auf seiner Oberseite liegend in die Endlage. Die Entfernung von der ersten Bodenberührung bis zur Endlage betrug 40 m. Der Flugzeugrumpf war im Frontbereich gestaucht und zertrümmert und die Cockpitverglasung zerstört. Der Zweiblattpropeller wurde abgerissen an der Unfallstelle gefunden. Die rechte Tragfläche war vom Luftfahrzeug abgetrennt und zerstört. Teile des mittleren Rumpfbereichs und große Teile der linken Tragfläche waren verbrannt.

Die Untersuchung am Luftfahrzeug ergab keine Hinweise auf eine technische Störung.

Medizinische und pathologische Angaben

Im Ergebnis einer am 10.09.2012 durchgeführten Obduktion der Leiche des Luftfahrzeugführers wurde u.a. festgestellt, dass „sich keine Hinweise für eine Herzattacke“ ergaben. Die Diagnose der Todesursache ergab, dass der Pilot im Rahmen „einer sogenannten Polytraumatisierung“ gestorben ist.

Brand

An der Unfallstelle war nach dem Aufprall des Luftfahrzeuges ein Brand entstanden, der jedoch durch das Eingreifen der Rettungskräfte schnell unter Kontrolle gebracht werden konnte.

Überlebensaspekte

Für die Luftfahrtveranstaltung standen Einsatzkräfte der Feuerwehr bereit. Unmittelbar nach dem Unfall war die Feuerwehr an der Unfallstelle, um mit den Einsatzkräften die verletzten Insassen zu bergen und den Brand am Luftfahrzeug zu löschen.

Versuche und Forschungsergebnisse

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Flugsystemtechnik Braunschweig wurde von der BFU beauftragt, eine Nachrechnung zum möglichen Wirbelschleppeneinfluss beim Flugunfall auf dem Flugplatz Backnang-Heiningen durchzuführen.

Grundlage für die Berechnung waren die Flugzeugdaten der nacheinander startenden Luftfahrzeuge AN-2 und DR 400 sowie Wetter- und Flugplatzangaben am Unfalltag (Anlage 1).

Die theoretische anfängliche Wirbelzirkulation der AN-2 wurde nach der Formel von Kutta-Joukovsky mit einem Wert von $106 \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt. Im Vergleich dazu betrug die anfängliche Wirbelzirkulation der DR 400 $33 \text{ m}^2/\text{s}$.

Die Berechnung des Zerfalls der erzeugten Wirbelzirkulation erfolgte nach dem DLR-Wirbelzerfallsmodell P2P unter der Annahme eines langsamen Zerfalls, ohne Turbulenz der Umgebungsluft und dem Zerfall nur durch Diffusion.

Bei dieser Berechnung wurde davon ausgegangen, dass zwei Wirbel im lateralen Abstand von ca. 13 m in der anfänglichen Wirbelzirkulation von der AN-2 erzeugt wurden. Bei der Betrachtung war das Wirbelalter im Bereich von etwa 20 - 60 Sekunden (s) von besonderem Interesse, weil die Auswertung der Fotodokumentation ergeben hatte, dass beide Luftfahrzeuge im Abstand von ca. 39 s hintereinander gestartet waren.

Im Ergebnis der Berechnung ergab sich für die Zeit 39 s nach der Wirbelbildung ein Zirkulationswert von $77 \text{ m}^2/\text{s}$ und für 60 s danach ein Wert von $66 \text{ m}^2/\text{s}$. Nach ca. 140 s waren die Wirbel zerfallen (Anlage 2).

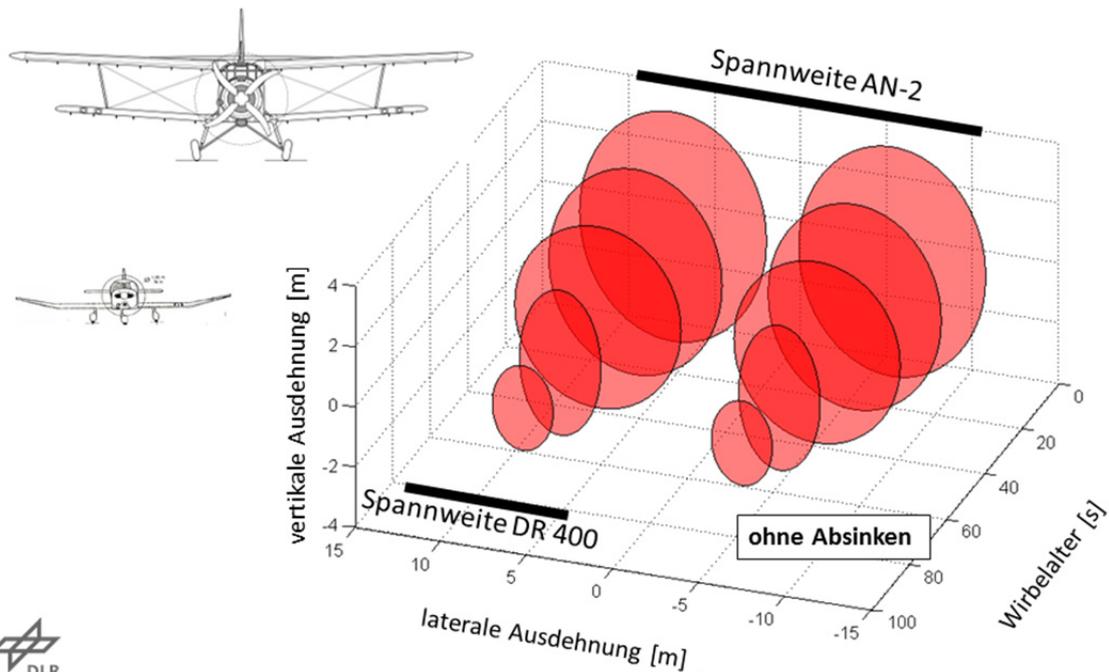
In der weiteren Untersuchung wurde das Absinkverhalten der erzeugten Wirbelschleppe der AN-2 betrachtet. Unter Annahme, dass es zur Unfallzeit fast windstill war, wurde der horizontale Wirbelversatz als sehr gering angenommen. Es wurde berechnet, dass die Wirbelschleppe nach 39 s um ca. 40 – 50 m abgesunken war. (Anlage 3)

Die Berechnungen wurden fortgeführt mit der Ermittlung des auf die DR 400 wirkenden Rollmoments infolge der von der AN-2 erzeugten Wirbelschleppe. In unterschiedlichen Zeitabständen des Wirbelzerfalls wurden die wirbelinduzierten Rollmomente mit dem angenommenen maximal erzeugbaren Querruderrollmoment der DR 400 verglichen.

Diese Werte wurden in einer 3-D-Grafik verarbeitet. Hier wird der Wirbelschleppenerfall gezeigt und dabei besonders der Bereich hervorgehoben, der in der Ausdehnung des Wirbels (rot) so gefährlich sein kann, dass das Rollmoment des Wirbels nicht ausreichend durch die Querruderwirkung der DR 400 ausgeglichen werden kann.

DR 400 Roll Control Ratio RCR > 100%

AN-2 Wirbelschleppenerfall 10-90s ohne Turbulenz, mittlere Ruderwirksamkeit



Wirbelschleppenerfall AN-2

Grafik: DLR

Die Darstellung des Wirbelschleppenerfalls enthält maßstäblich die Spannweiten der beteiligten Luftfahrzeuge, berücksichtigt jedoch nicht das Absinken der Wirbelschleppe.

Die gleichen Berechnungswerte wurden in einer weiteren Darstellung (Anlage 4) verwendet, um die Dimensionsveränderung beider Wirbel im zeitlichen Ablauf darzustellen. Das Hervorheben der Wirbelgröße für die Zeit 40 s nach Wirbelerzeugung ist besonders interessant. Der Größenvergleich der Wirbelgröße mit den maßstäblich gezeichneten Luftfahrzeugen vermittelt einen anschaulichen Eindruck vom vermeintlichen Einfluss auf die DR 400.

Das Absinkszenario der Wirbelschleppe im Zeitraum von 10 - 39 Sekunden nach Wirbelentstehung wird in der Anlage 5 veranschaulicht.

Das Ergebnis der Untersuchungen durch das DLR wird in der Zusammenfassung (Anlage 6) dargelegt. Die Kernaussage beschreibt, dass bei windstillen Wetterbedingungen die AN-2 eine Wirbelschleppe mit zwei gegensinnig rotierenden Einzelwirbeln erzeugen kann, deren Rollmoment beim zentralen Einfliegen in den Wirbel so groß sein kann, dass es für ein Flugzeug wie die DR 400 nicht möglich ist, dieses Rollmoment mit entgegenwirkendem Querruderausschlag ausreichend zu kompensieren.

Aufgrund der Berechnungsergebnisse wurde ein Flugversuch vorbereitet, in dem zum einen die Wirbelbildung hinter einer AN-2 am Boden dokumentiert werden sollte und zum anderen der Einflug einer DR 400 in die Wirbelschleppe getestet werden sollte.

Die Versuche wurden am 03.07.2014 am Flugplatz Reinsdorf durchgeführt. Mit Hilfe von Rauchkörpern am Boden und an der AN-2 konnte die Wirbelbildung am Boden und im Flugversuch in 1 000 m Flughöhe hinter der AN-2 anschaulich sichtbar gemacht werden. Für den Bodenversuch wurden auf zwei vier Meter hohen Gerüsten Rauchkörper nacheinander gezündet. Für den Flugversuch in 1 000 m Höhe wurden drei Rauchkörper, die an der Stützstrebe der linken Tragflächen befestigt waren, gleichzeitig gezündet. Bei einer Brenndauer von vier Minuten konnte so der linke Wirbel der Wirbelschleppe für die Dokumentation sichtbar gemacht werden.

Erste Auswertungen der Flugversuche zeigen, dass die Berechnungen des DLR zur Wirbelschleppenbildung hinter einer AN-2 vollständig verifiziert werden konnten.

Der Testpilot schätzt in seinem Flugbericht ein, dass wenn ein Luftfahrzeug der Größenklasse einer DR 400 „unvorbereitet bzw. unerwartet in den Kern einer solchen Wirbelschleppe einfliegt, dann ist die Gefahr sehr groß, daß das Flugzeug bis über

90° rollt und einen signifikanten Höhenverlust erfährt“. Bei fünf Testflügen im Abstand von 200 m bis 800 m hinter der AN-2 konnte mehrfach der Einfluss der Wirbelschleppe auf das einfliegende Luftfahrzeug dokumentiert werden. Der Testpilot schildert, dass „es bei den kleineren Entfernungen – aufgrund des besseren Rauchbildes – etwas einfacher war, den Wirbelkern zu treffen.

Die Wirbelstärke bzw. die Reaktion des Flugzeugs (Rollverhalten) war aber gefühlt von der Entfernung unabhängig. Der Wirbel wurde in den meisten Fällen von unten angefliegen. Der Versuch, in dem Wirbel zu bleiben, glückte nur für kurze Zeit bei vollem Ruderausschlag von Querruder und Seitenruder nach links. Mit Querruder in Neutralstellung erfolgte bei mittigem Einflug in den Wirbel eine starke Rotation nach rechts bis zu einer Querlage von ca. 90° mit einer Rollgeschwindigkeit von geschätzten 70° bis 80°/s. Der bei dem Rollen entstandene Höhenverlust betrug geschätzte 30 – 50 m. Außerhalb des Wirbels konnte das Flugzeug durch Gegenquerruder und Höhenruder leicht wieder stabilisiert werden“.

Die Kamera- und Messtechnik in der DR-400 sowie die Kameratechnik in der AN-2 und in einem weiteren Luftfahrzeug dokumentierten die dynamische Rollbewegung der DR-400 um die Längsachse sehr anschaulich.



Dokumentierte Auslenkung um die Längsachse um mehr als 90°

Foto: TU Braunschweig

Bei den Bodenversuchen mit tiefen Überflügen der AN-2 durch einen Rauchvorhang konnten die Wirbelbildungen im zeitlichen Verlauf deutlich sichtbar gemacht werden. Dabei wurde nach der vorangegangenen Berechnung der Wirbel jetzt die Wirbelentstehung, die Dynamik der Rotation und die Verweildauer der Wirbel anschaulich dokumentiert. Ein wesentliches Ergebnis der Berechnungen, der Wirbelschleppenzersfall, konnte durch die Bilddokumentation beim Flugversuch bestätigt werden. Demzufolge bleiben bei einer windstillen Wetterlage die stark rotierenden Wirbel der Wirbelschleppe fast ortsfest ca. 1 Minute nach dem Überflug der AN-2 in ca. 5 – 10 m Höhe über dem Boden liegen.



Wirbelbildung nach AN-2-Überflug

Foto: BFU

Organisationen und deren Verfahren

In der Genehmigung der Luftfahrtveranstaltung auf dem Sonderlandeplatz Backnang am 8./9. September 2012 vom zuständigen Regierungspräsidium vom 03.09.2012 wurde unter Punkt II.7. die Kontrolle der Gültigkeit von Erlaubnissen und Berechtigungen von teilnehmenden Piloten sowie der Zulassungsdokumente der beteiligten Luftfahrzeuge gefordert. Es war darin festgelegt, dass bei Mängeln an den vorgelegten Unterlagen der Luftfahrzeugführer bzw. das Luftfahrzeug von der Veranstaltung auszuschließen ist.

Im Formblatt „Briefing Teilnahmebestätigung“ wurden für den Luftfahrzeugführer die entsprechenden Daten aus dem Tauglichkeitszeugnis und der Lizenz eingetragen. Die maßgebliche Eintragung für die Berechtigung SE piston (land) mit dem Gültigkeitsdatum vom 04.04.2011 wurde nicht erfasst. Die fehlende Unterschrift des Lizenzinhabers blieb bei der Kontrolle der Dokumente unbemerkt.

Die Kontrolle der Dokumente des Luftfahrzeuges wurde in einer Liste erfasst und vom Piloten abgezeichnet.

An die Teilnehmer der Luftfahrtveranstaltung wurde eine „Piloteninformation Flugfest EDSH 8-9 September 2012“ ausgehändigt. Darin war u.a. die Pflicht zur Teilnahme am Briefing, zur Überprüfung aller Dokumente auf Gültigkeit und die Erfassung der fliegerischen Voraussetzungen bzw. Erfahrungen für die Rundflug-Piloten aufgelistet.

Beurteilung

Der Luftfahrzeugführer hatte die erforderlichen Lizenzen zur Durchführung des Fluges und ausreichend Erfahrung auf dem Flugzeugmuster. Aufgrund des fehlenden Verlängerungseintrages auf der Rückseite der Lizenz und der fehlenden Unterschrift war die Gültigkeit der Lizenz nicht gegeben und der Pilot war im Rahmen der Genehmigung der Flugveranstaltung nicht zum Start berechtigt.

Das flugmedizinische Tauglichkeitszeugnis Klasse 2 des Piloten war bis zum 1. März 2013 gültig. Bei den Ermittlungen zum Flugunfall wurde festgestellt, dass dem zuständigen Fliegerarzt wesentliche Umstände der Krankengeschichte des Piloten sowie aktuelle Behandlungsmaßnahmen, wie die Einnahme von blutverdünnenden Medikamenten, verschwiegen wurden. Neben der Feststellung, dass der Pilot alle 3 - 4 Wochen auf einen neuen Marcumar-Wert eingestellt werden musste, lagen weitere Befunde beim Hausarzt vor, die eine Fliegertauglichkeit ausschließen würden.

Aus dem Obduktionsgutachten geht hervor, dass es keine Anzeichen für eine gesundheitliche Beeinträchtigung in Form von Herzversagen beim Startvorgang gegeben hatte.

Das Luftfahrzeug war ordnungsgemäß zum Verkehr zugelassen und nachgeprüft. Es wurde innerhalb der vorgeschriebenen Betriebsgrenzen geflogen. Technische Mängel wurden bei der Untersuchung nicht festgestellt.

Die Luftfahrtveranstaltung war von der zuständigen Landesluftfahrtbehörde genehmigt und wurde unter guten Wetterbedingungen durchgeführt. Die Luftfahrzeugführer wurden in der Einweisung vor Beginn der Veranstaltung auf die Bildung von Wirbelschleppen hinter der AN-2 hingewiesen. Beim Start der DR 400 wurde ebenfalls über Flugfunk der Hinweis auf Wirbelschleppen gegeben. Die Wirbelschleppenbildung hinter einer AN-2 und die damit verbundenen Auswirkungen in der Dimension und im zeitlichen Bestand konnten nur abgeschätzt werden, weil es bisher dazu keine Berechnungen und Messungen gab. Es war bekannt, dass die Masse von über 5 t in Verbindung mit der geringen Startgeschwindigkeit eine besondere Stärke der Wirbelbildung hinter der AN-2 erwarten lässt.

Aufgrund der Ergebnisse der in Auftrag gegebenen Untersuchung beim DLR, Institut für Flugsystemtechnik Braunschweig zum Wirbelschleppeneinfluss beim Flugunfall auf dem Flugplatz Backnang-Heiningen ist deutlich geworden, dass unter bestimmten Wetterbedingungen eine von der AN-2 erzeugte Wirbelschleppe bis zu 60 s nach dem Start für nachfolgend startende Luftfahrzeuge eine Gefahr darstellen kann. Die am 03.07.2014 durchgeführten Flugversuche am Flugplatz Reinsdorf bestätigten umfassend die Ergebnisse der Berechnungen des DLR.

Die am Unfalltag herrschenden Wetterbedingungen, fast Windstille und keine turbulente Luftvermischung durch thermische Ablösungen, waren ideale Bedingungen für den ortsfesten Verbleib der Wirbelschleppe und deren lange Wirkung.

Nach Auswertung des Video- und Fotomaterials von Zeugen kann davon ausgegangen werden, dass beide Luftfahrzeuge im zeitlichen Abstand von ca. 39 s hintereinander starteten. Die vorausfliegende AN-2 benötigte zum Abheben eine geringere Startrollstrecke als die DR 400. Die Auswertung von Fotoaufnahmen ergab, dass die Flugbahn des Anfangssteigfluges der AN-2 oberhalb des Anfangssteigfluges der DR 400 verlief. Von der vorausfliegenden AN-2 hatte sich die Wirbelschleppe zur Startzeit der DR 400 um ca. 40 – 50 m im Bereich der Graspiste abgesenkt. Die Videoaufnahme zum Startlauf der DR 400 zeigt, wie das Luftfahrzeug in einer Flughöhe von ca. 15 m über der Piste in eine kontinuierliche Rollbewegung um die Längs-

achse geriet. Dieser Rollbewegung wurde vom Piloten mit einem Querruderausschlag entgegengewirkt, jedoch setzte sich die Rollbewegung fort.

Die Steuerung bzw. das Flugverhalten der DR 400 beim Startlauf erfolgte nicht unter optimalen Geschwindigkeitsbedingungen. Das Video zeigt das Abheben des Luftfahrzeuges ohne erkennbare Fahrtreserve mit Mindestfahrt. Das Flugverhalten beim Absturz des Luftfahrzeuges entsprach jedoch nicht den typischen Flugbewegungen beim Überziehen eines Luftfahrzeuges.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen ist davon auszugehen, dass die DR 400 mit hoher Wahrscheinlichkeit im Startlauf nach dem Abheben mit der Längsachse des Luftfahrzeuges zentral in den linken Wirbel der abgesenkten Wirbelschleppe der vorausfliegenden AN-2 eingeflogen ist und es so zu einer kontinuierlichen Rollbewegung nach rechts kam.

Schlussfolgerungen

Der Flugunfall ist darauf zurückzuführen, dass beim Startlauf kurz nach dem Abheben das Luftfahrzeug in die Wirbelschleppe eines vorausfliegenden Luftfahrzeuges geriet und das erzeugte Rollmoment vom Luftfahrzeugführer durch geeignete Steuerausschläge nicht kompensiert werden konnte.

Untersuchungsführer: Stahlkopf
Mitwirkung: Reibel (BFU), Himmler (BFU), Schwarz (DLR),
Fischenberg (DLR), Hankers (TU Braunschweig),
Cremer (Messwerk GmbH)

Braunschweig, 25. August 2014

Anlagen

- Anlage 1: Flugzeugdaten / Flugplatzdaten
- Anlage 2: AN-2 Wirbelschleppe - Wirbelzerfall nach P2P-Modell
- Anlage 3: Wirbelversatz und Wirbelabsinken AN-2
- Anlage 4: DR 400 Roll Control Ratio RCR > 100%
- Anlage 5: Absinkszenario für DR 400 Roll Control > 100%
- Anlage 6: Zusammenfassung

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluffahrt und dem Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz - FIUUG) vom 26. August 1998 durchgeführt.

Danach ist das alleinige Ziel der Untersuchung die Verhütung künftiger Unfälle und Störungen. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens, der Haftung oder von Ansprüchen.

Herausgeber

Bundesstelle für
Flugunfalluntersuchung
Hermann-Blenk-Str. 16

38108 Braunschweig

Telefon 0 531 35 48 - 0
Telefax 0 531 35 48 - 246

Mail box@bfu-web.de
Internet www.bfu-web.de

Anlage 1

Flugzeugdaten / Flugplatzdaten

Antonov AN-2

- **Masse: ca. 5,5 t (max. Abflugmasse)**
- Spannweite, gemittelt: 16,21 m
- $V = 120\text{-}130\text{ km/h}$ Anfangssteigflug
($120\text{ km/h} = 33,3\text{ m/s}$)



Robin DR 400/180 R

- **max. Abflugmasse: 1,0 t**
- Spannweite: 8,72 m
- $V = (\text{ca.}) 130\text{ km/h}$ ($36,1\text{ m/s}$)



Flugplatz Backnang-Heiningen (EDSH)

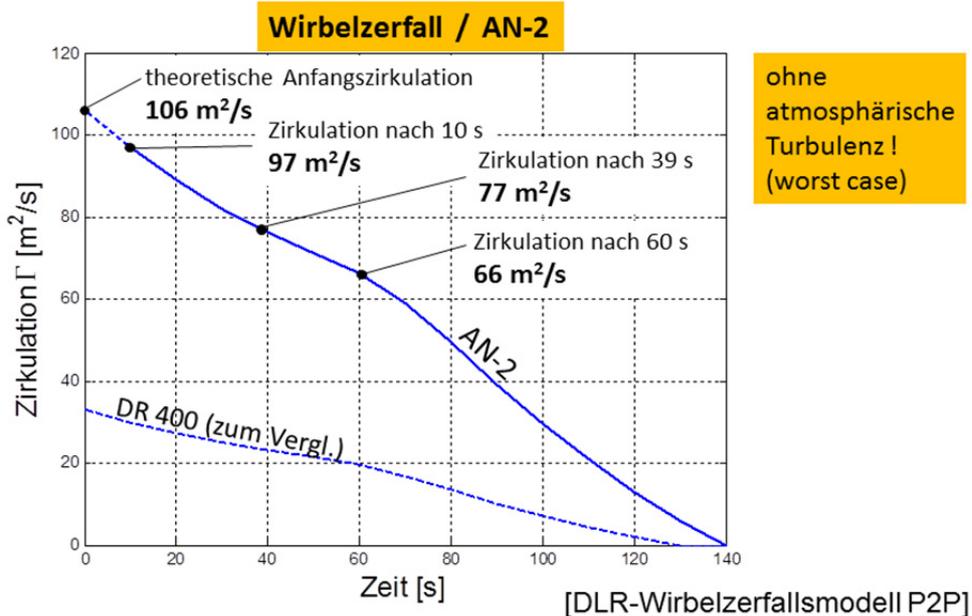
- 294 m ü. MSL
- Standardatmosphäre Dichte(300 m) = $1,2\text{ kg/m}^3$
- heißer Sommertag
- **nahezu windstill**



Anlage 2

AN-2 Wirbelschleppe

Wirbelzerfall nach P2P-Modell



Anlage 3

Wirbelversatz und Wirbelabsinken AN-2

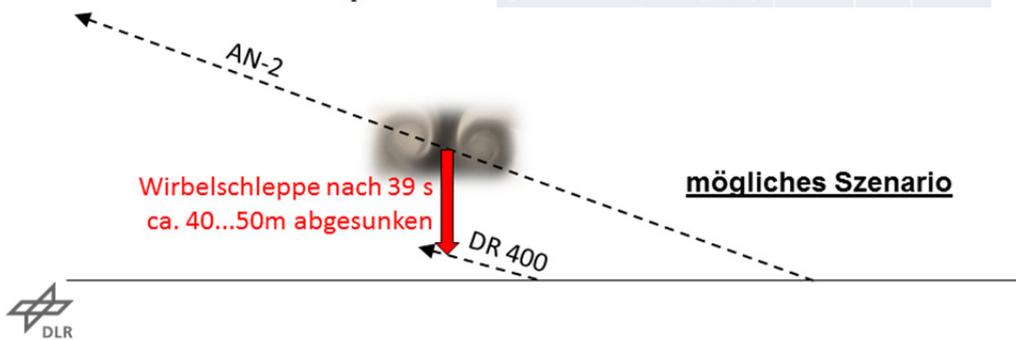
• **Wirbelversatz (horizontal)**

Windstiller Tag: Annahme horizontaler Wirbelversatz sehr gering

• **Wirbelabsinken**

Wirbelalter [s]	0	39	60
Zirkulation Γ [m ² /s]	106	77	66
Wirbelabsink- geschwindigkeit [m/s]	1.3	1	0.8

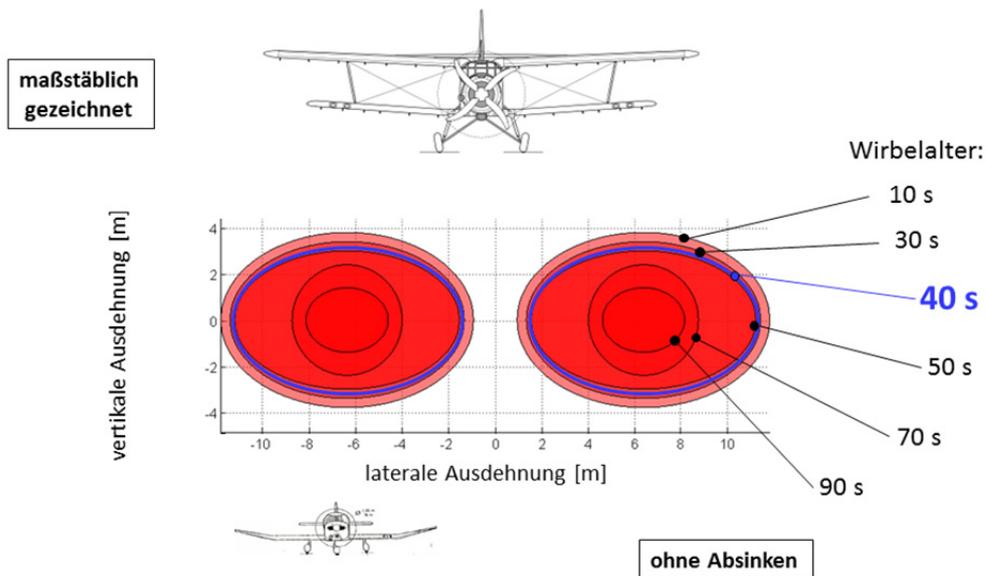
$$w_{\text{Wirbel}} = \frac{\Gamma}{2\pi \cdot \frac{\pi}{4} \cdot b}$$



Anlage 4

DR 400 Roll Control Ratio RCR > 100%

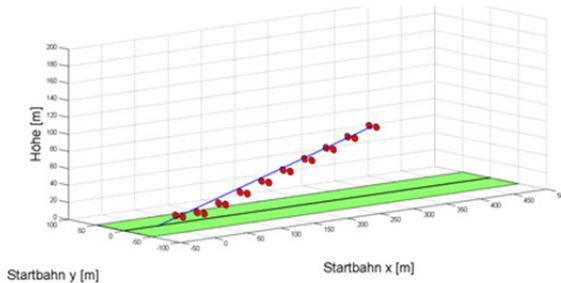
AN-2 Wirbelschlepenzerfall 10-90s ohne Turbulenz, mittlere Ruderwirksamkeit



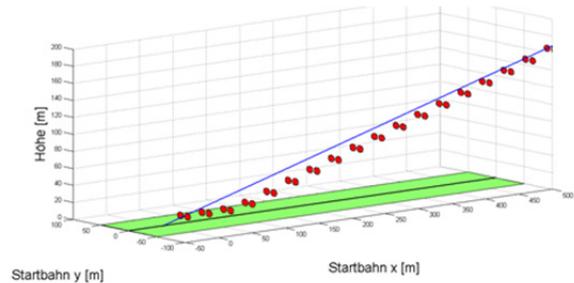
Anlage 5

Absinkszenario für DR 400 Roll Control Ratio > 100%

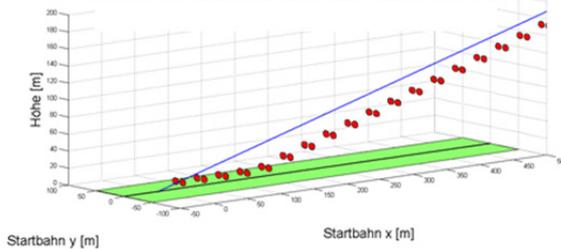
AN-2 Wirbelalter am Abhebeort: 10s



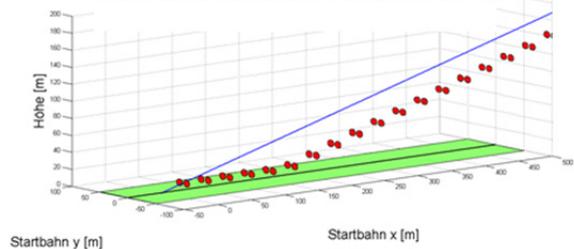
AN-2 Wirbelalter am Abhebeort: 20s



AN-2 Wirbelalter am Abhebeort: 30s



AN-2 Wirbelalter am Abhebeort: 39s



Anlage 6

Zusammenfassung

1. Die Berechnungen zeigen, dass die Wirbelschlepe einer AN-2 (MTOW = 5.5 t) bei turbulenzarmen (windstillen) Wetterverhältnissen auch in einem Alter von 60 s für nachfolgende kleine Flugzeuge eine gefährliche Stärke aufweisen kann.
2. Eine Wirbelschlepe induziert zwei gegenseitig rotierende Einzelwirbel. Diese verursachen ein gestörtes Strömungsfeld in einem relativ kleinräumigen Bereich von etwa der doppelten Spannweite des Erzeugers vertikal und quer zur Flugrichtung.
3. Das von der Wirbelschlepe induzierte Rollmoment wirkt maximal auf das einfliegende Flugzeug, wenn entweder der linke Einzelwirbel (Rollen nach rechts) oder der rechte Einzelwirbel (Rollen nach links) zentral durchflogen wird.
4. Die für den Vorfall berechneten, auf die DR 400 wirkenden Rollmomente können in einem Bereich von minimal 5x5 Meter vertikal und quer zur Flugrichtung so stark sein, dass sie auch mit maximalem, dem Wirbelschleppenmoment entgegenwirkenden Querruderausschlag nicht kompensiert werden können.

Die Rechnungen basieren auf mehreren Annahmen und Modellvorstellungen, im wesentlichen:

1. Querruderwirksamkeit und Auftriebsgradient einer DR 400
2. Wirbelzerfall nach P2P-Modell (DLR) für sehr turbulenzarmes Wetter
3. Wirbelinduziertes Strömungsfeld nach Burnham-Hallock mit 3,5% Kernradius
4. aerodynamisches Wirbel-Interaktionsmodell für eine DR 400 (Streifenmethode)

