

Flugbetrieb

Turbulente Strömung

Wirbelschleppen

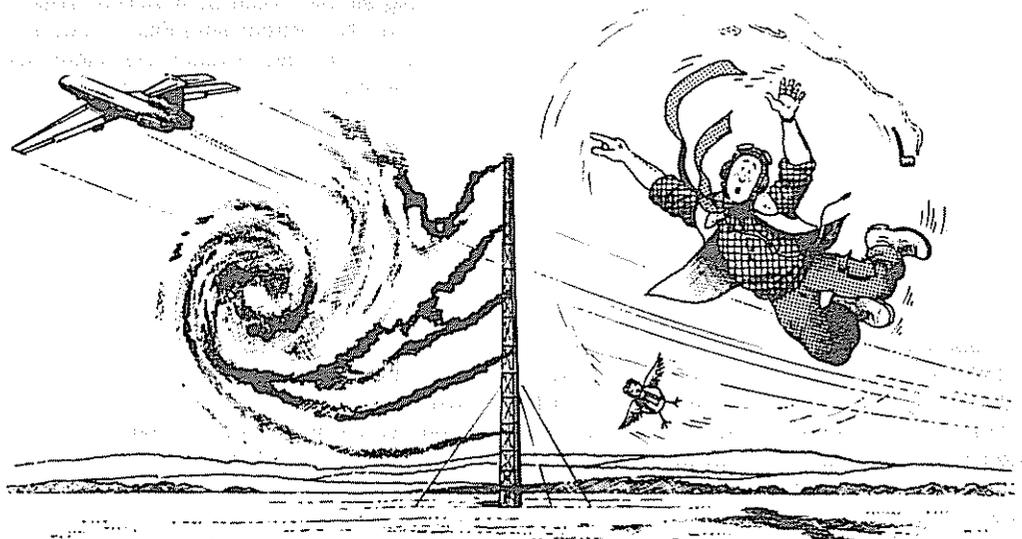
Braunschweig, den 15. 9. 1983
LBA III 3-985.1/83

Seit Jahren besteht für kleinere Luftfahrzeuge die Gefahr, welche durch die turbulente Nachströmung an großen Luftfahrzeugen entsteht.

Das Eidgenössische Luftamt in Bern – heute Bundesamt für Zivilluftfahrt – hat seinerzeit hierüber eine umfangreiche Ausarbeitung erstellt, die wir von dort übernommen hatten.

Wegen der großen Nachfrage – die damaligen Exemplare sind vergriffen – haben wir uns entschlossen, einen Nachdruck herstellen zu lassen.

Für die freundliche Unterstützung und die Genehmigung des Nachdruckes im Sinne der Flugsicherheit danken wir dem Bundesamt für Zivilluftfahrt.



Herausgeber: Luftfahrt-Bundesamt, Flughafen, 3300 Braunschweig

Herstellung: Limbach, Braunschweig

Nachforderungen mit ausreichend frankiertem und adressiertem Umschlag bitte richten an:
DAeC-Wirtschaftsdienst GmbH, Lyoner Str. 16, 6000 Frankfurt/M.-Niederrad

Abdruck, auch auszugsweise nur mit Quellenangabe gestattet

1. Grundlage

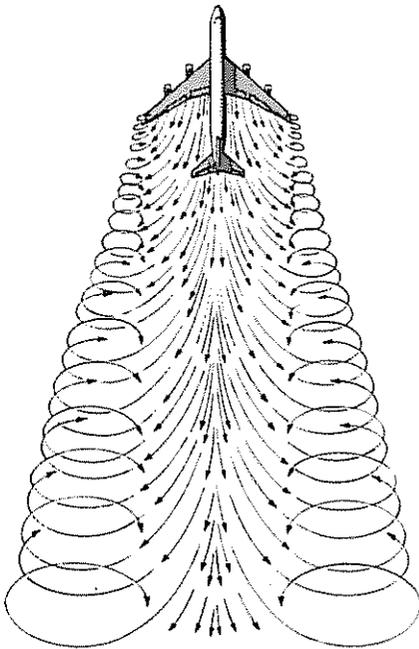
Das Luftamt der USA behandelt in seinen behördlichen Empfehlungen (FAA Advisory Circular No. 90 – 23 B vom 17. Mai 1971) die Gefahren, die kleineren Luftfahrzeugen im Bereiche der Wirbelschleppen großer Luftfahrzeuge begegnen können.

2. Zweck

Diese in freier Übersetzung entstandene Broschüre soll die Piloten mit dem Inhalt der vorgenannten Empfehlung und den sich daraus ergebenden gefahrmindernden Betriebsverfahren vertraut machen.

3. Einführung

Jedes Flugzeug erzeugt während des Fluges einen Nachstrom in der Luft. Anfänglich wurde dieser als Propellerstrahl behandelt. Spätere Erkenntnisse zeigten aber, daß die eigentliche Störung aus einem Paar von den Flügelenden ausgehenden, gegeneinander drehenden, in der Luft hinterlassenen Wirbelschleppen besteht. Nachdem die Luftfahrzeuge größer und schwerer geworden sind, brachte die Intensität dieser Wirbelschleppen für kleinere Luftfahrzeuge in zunehmendem Maß Probleme. Einige der heutigen Strahlflugzeuge, besonders die Jumbo Jets, erzeugen in ihrem Nachstrom Wirbelströmungen mit Drehgeschwindigkeiten, welche die Roll-Steuerbarkeit einiger Luftfahrzeuge übersteigen. Überdies kann die in den erzeugten Wirbelschleppen vorhandene Turbulenz Teile von Luftfahrzeugen und deren Ausrüstungen beschädigen, so daß ihre Flugeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten beeinträchtigt werden. Der Pilot hat zu lernen, sich Ort und Verlauf des Wirbelnachstromes, welcher von großen Luftfahrzeugen erzeugt wird, vorzustellen und seine Flugbahn entsprechend anzupassen.



Der Aufrollvorgang

4. Wirbelerzeugung

Auftrieb wird durch Schaffung einer Druckdifferenz über den Flügeloberflächen erzeugt. Der tiefste Druck stellt sich in der Gegend der Mitte der Flügeloberseite ein. Der Luftstrom auf der Flügeloberseite bewegt sich demnach von der Flügelspitze in Richtung Rumpf. Ebenso befindet sich der relative Höchstdruck in der Nähe der Mitte der Flügelunterseite, so daß dort die Luft zum Ausgleich des Druckes vom Rumpf in Richtung Flügelspitze strömt. Die resultierende Zirkulation und der Abwindeffekt des Luftstromes über dem Flügel führen beim Verlassen jeder Hinterkante zu einer Luftwirbelfläche, welche sich hinter der Flügelspitze spiralförmig einrollt. Nach dem vollständigen Einrollen besteht der Nachstrom eines Flugzeuges aus zwei gegenläufig rotierenden Wirbeln. Bei einem modernen Pfeilflügel-Flugzeug geht der Aufrollvorgang bereits vor sich, bevor der Luftstrom die Flügelspitzen verläßt.

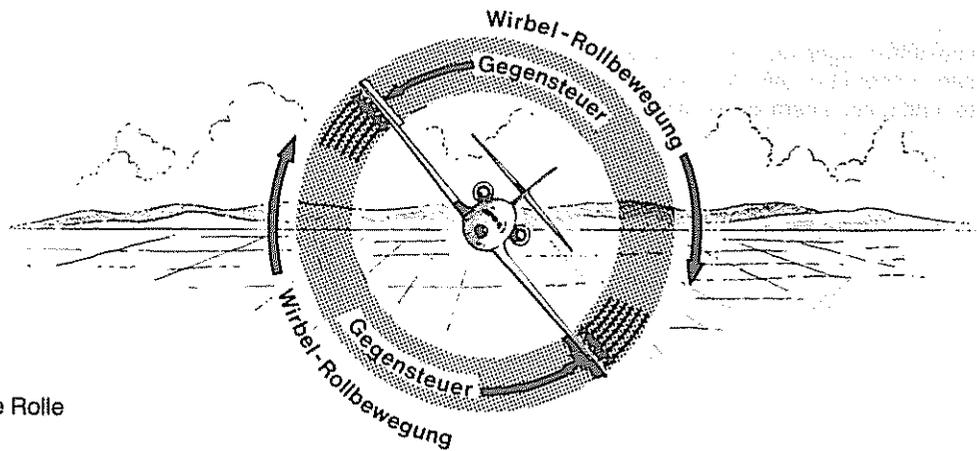
5. Wirbelstärke

Die Stärke der Wirbel ergibt sich in erster Linie aus dem Gewicht, der Geschwindigkeit und der Gestalt des Flügels des sie erzeugenden Luftfahrzeuges. Die Wirbelcharakteristik jedes gegebenen Luftfahrzeuges kann auch durch das Ausfahren von Klappen und durch andere Vorrichtungen sowie durch Änderungen der Fluglage beeinflusst werden. Immerhin, Hauptfaktor ist das Gewicht; die Wirbelstärke vergrößert sich mit der Erhöhung des Gewichtes und der Belastung in Richtung der Spannweite.

Während eines kürzlichen Versuches wurden Tangential-Geschwindigkeiten der Wirbel von 45 m pro Sekunde oder etwa 160 km/h registriert. Die größte Wirbelstärke tritt auf, wenn das erzeugende Luftfahrzeug schwer, widerstandsarm und langsam ist.

6. Induzierte Rolle

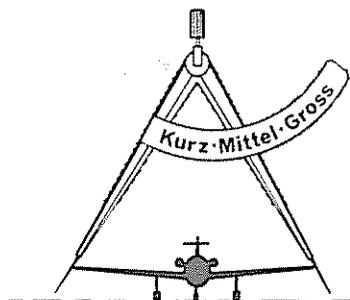
Wird ein Luftfahrzeug vom Nachstrom eines anderen ernsthaft erfaßt, können strukturelle Beschädigungen die Folge sein. Die ernste Gefahr liegt aber darin, daß die zwingende und unwiderstehliche Rollbewegung die Steuerung erschwert. Bei Flugversuchen absichtlich in den Wirbelkern geführte Luftfahrzeuge tendierten dazu, mit diesem Wirbel zu rollen. Die Fähigkeit, dieser Rolle erfolgreich entgegenzuwirken, hängt von der Spannweite und von der Gegensteuer-Wirksamkeit des erfaßten Flugzeuges ab.



Induzierte Rolle

Da Spannweite und Querruder größerer Flugzeuge über die Wirbel hinausragen, ist die Gegensteuerung wirksam und die induzierte Rollbewegung minimal. Befinden sich die Querruder eines Flugzeuges kleinerer Spannweite dagegen gänzlich im Wirbelfeld, so wird die Gegensteuer-Wirksamkeit wesentlich verringert sein. Übersteigt die Wirbelstärke die Quersteuer-Wirksamkeit des erfaßten Luftfahrzeuges, so kann die aufgezwungene Rollbewegung nicht angehalten und beherrscht werden. Der wesentliche Faktor bei der induzierten Rolle ist die relative Spannweite des erfaßten Luftfahrzeuges. Der Nachstrom großer Strahlflugzeuge verlangt dessen Beachtung seitens aller Piloten.

Piloten von Luftfahrzeugen kleinerer Spannweite müssen bezüglich Wirbelsituationen besonders wachsam sein, selbst dann, wenn es sich um Hochleistungs-Luftfahrzeuge handelt.



Relative Spannweite

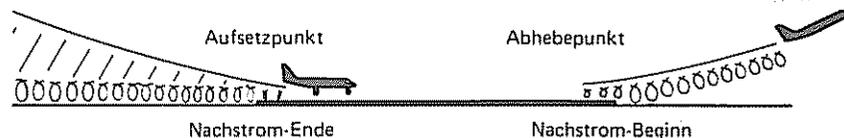
7. Charakteristik der Wirbel

Wirbel-Nachströme haben bestimmte Eigentümlichkeiten, die dem Piloten ermöglichen, ihre Lage zu erkennen und zu meiden.

a) Die Wirbelerzeugung beginnt mit der Rotiergeschwindigkeit, wenn sich das Bugfahrwerk beim Start abhebt, und endet, wenn dieses bei der Landung den Boden berührt.

Die Piloten sollen sich den Abhebe- oder den Aufsetzpunkt des vorausgehenden Luftfahrzeuges merken.

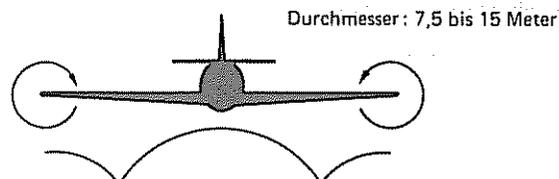
b) Die Wirbelzirkulation ist nach außen, oben und um die Flügelspitzen gerichtet, wenn das Luftfahrzeug von vorn oder hinten betrachtet wird. Versuche mit schweren Luftfahrzeugen haben gezeigt, daß die Durchmesser der Wirbelkerne etwa 7,5 bis 15 m betragen, wobei allerdings das Einflußfeld größer ist.



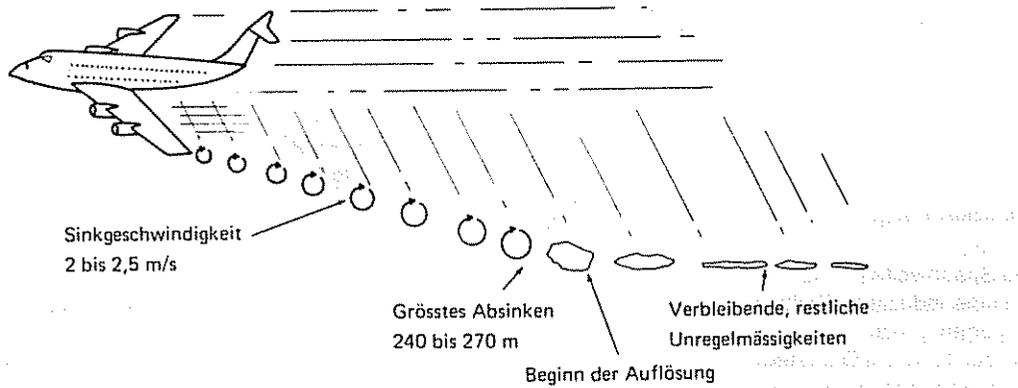
Die Wirbel stehen bis zu ihrer Auflösung geschlossen beieinander (ca. 3/4 der Spannweite).

Einer beharrlich verbleibenden Wirbelturbulenz kann demnach durch leichte seitliche Verlegung der Flugbahn ausgewichen werden.

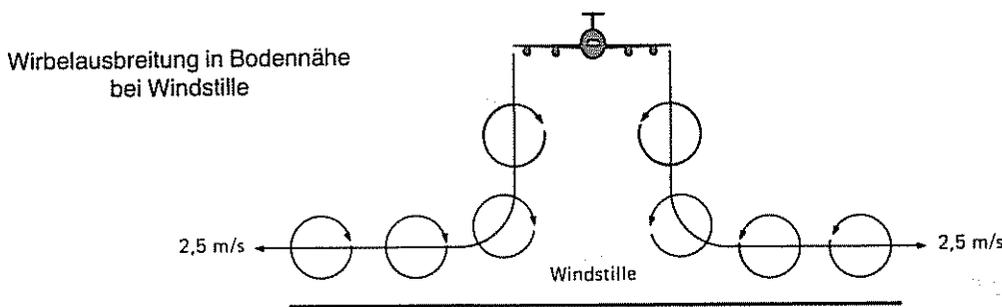
c) Flugversuche haben gezeigt, daß Wirbel von schweren Strahlflugzeugen sofort mit etwa 2 bis 2,5 m/s zu sinken beginnen. In ca. 240 bis 270 m unter der Flugbahn des erzeugenden Luftfahrzeuges tendieren die Wirbel, in die Horizontale überzugehen.



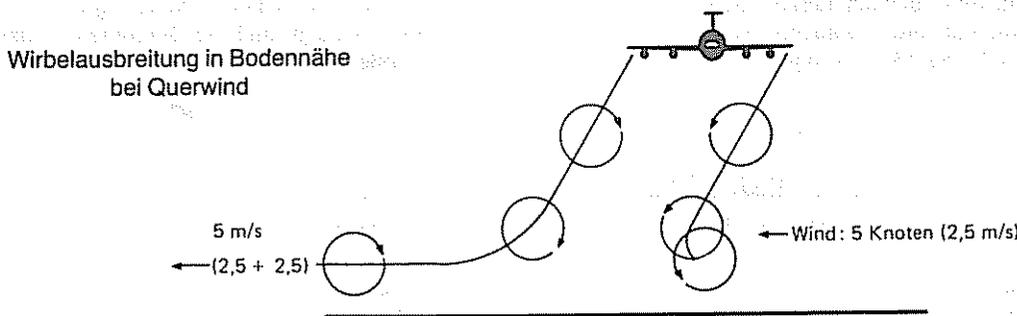
Die Wirbelstärke vermindert sich mit der Zeit und der Distanz hinter dem erzeugenden Luftfahrzeug. Atmosphärische Störungen beeinträchtigen die Wirbelstärke, heben ihre Wirksamkeit aber nicht ganz auf. Piloten sollen in oder über der Flugbahn schwerer Strahlflugzeuge fliegen und wenn nötig den Kurs ändern, um Zonen hinter und unter einem starke Wirbel erzeugenden Luftfahrzeug zu meiden.



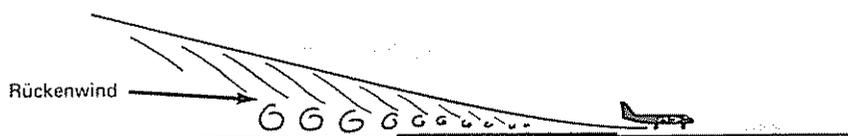
d) Erreichen die sinkenden Wirbel die Bodennähe, dann breiten sie sich seitwärts mit einer Geschwindigkeit von etwa 2,5 m/s über dem Boden aus.



Eine Querwind-Komponente vermindert die seitliche Ausbreitung der windseitigen Wirbel und erhöht die Fortbewegung der windabgewendeten Wirbel. Daraus ergibt sich das Verbleiben der windseitigen Wirbel in der Aufsetzzone und die vergrößerte Abtrift der windabgewendeten Wirbel in Richtung einer möglichen Parallelpiste.



In ähnlicher Weise vermag eine Rückenwind-Situation (sofern dies einmal vorkommen sollte) die Wirbel des vorangehenden Luftfahrzeuges in Richtung der Aufsetzzone vorwärts zu verschieben. Piloten sollen vor den Luftströmungen, die von den Flugbahnen schwerer Strahlflugzeuge herkommen, auf der Hut sein.



8. Betriebsprobleme

Es braucht nicht unbedingt gefährlich zu sein, in eine Wirbelschlepe eines schweren Luftfahrzeuges zu geraten. Zwei Erschütterungen, bei jedem Wirbel eine, können beim Durchqueren die Folge sein. Ebenso ist es möglich, nur einen Stoß oder auch mehrere Schläge verschiedener Stärke zu spüren, je nach Richtung und Ort des Zusammentreffens und der Distanz vom wirbelerzeugenden Luftfahrzeug. Die Wahrscheinlichkeit von Schüttelerscheinungen und induzierten Rollbewegungen vergrößert sich, wenn der Kurs des erfaßten Luftfahrzeuges mit der Wirbelschlepe ungefähr parallel verläuft.

Vermeide Begegnungen unter oder hinter dem Wirbel erzeugenden Luftfahrzeug, besonders in geringer Höhe, wo schon ein kurzes Zusammentreffen mit einer Wirbelschlepe gefährlich sein kann. Piloten sollen besonders auf der Hut sein bei Windstille und Situationen, in denen Wirbel:

- in den Aufsetzonen verbleiben;
- auf Parallelpisten versetzt werden;
- in Start- oder Landeflugbahnen sich kreuzender Pisten absinken;
- in die Verkehrswege anderer Flugplätze absinken;
- in die Flugbahnen von VFR-Flügen, unter 150 m, absinken.

Piloten sollen sich die Lage der Wirbelschleppen vorstellen und passende Wirbelvermeidungsverfahren anwenden, um in Gebieten gemischten Verkehrs einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können. Dabei ist es ebenso wichtig, daß Piloten mittlerer und großer Luftfahrzeuge ihre Flugbahnen so planen, daß sie andere, soweit als möglich, nicht der Wirbelgefahr aussetzen.

9. Verfahren zur Vermeidung von Wirbeln

Unter gewissen Bedingungen wenden Fluglotsen Verfahren an, um andere Luftfahrzeuge von großen und schweren Strahlflugzeugen zu trennen. So geben sie den nach VFR fliegenden Luftfahrzeugen, mit welchen sie Verbindung haben und die nach ihrer Auffassung von Wirbelschleppen eines schweren Strahlflugzeuges nachteilig beeinflusst werden können, dessen Position, Höhe und Flugrichtung bekannt, zugleich mit Warnung: „Caution – Wake Turbulence“. (Achtung – Wirbelschleppen).

Ob eine Warnung gegeben wurde oder nicht, vom Piloten wird erwartet, Betrieb und Flug den Notwendigkeiten anzupassen, die verhindern, in eine Wirbelschlepe hineinzugeraten.

Die folgenden Verfahren zur Vermeidung von Wirbeln sind bei den dargestellten Situationen empfohlen:

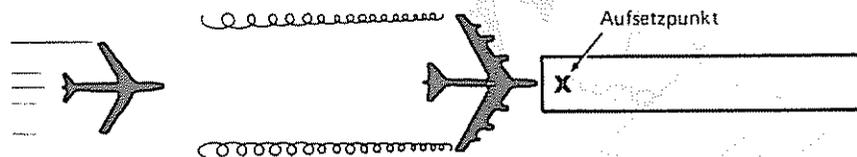
a) Landung hinter einem schweren Strahlflugzeug

auf gleicher Piste:

Bleibe auf oder über der Schluß-Anflugbahn des schweren Strahlflugzeuges.

Merke seinen Aufsetzpunkt.

Lande darüber hinaus.



b) Landung hinter einem schweren Strahlflugzeug

auf Parallelpiste näher als 750 m:

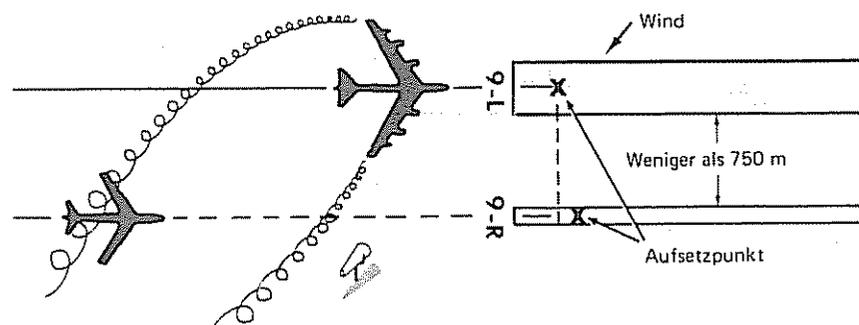
Merke Wind für mögliche Wirbelabtrift auf die in Aussicht genommene Piste.

Verlange, wenn möglich, die windseitig gelegene Parallelpiste.

Bleibe auf oder über der Schluß-Anflugbahn des schweren Strahlflugzeuges.

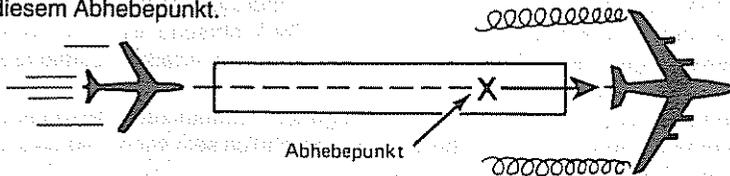
Merke seinen Aufsetzpunkt.

Lande über einen querabliegenden Punkt hinaus.



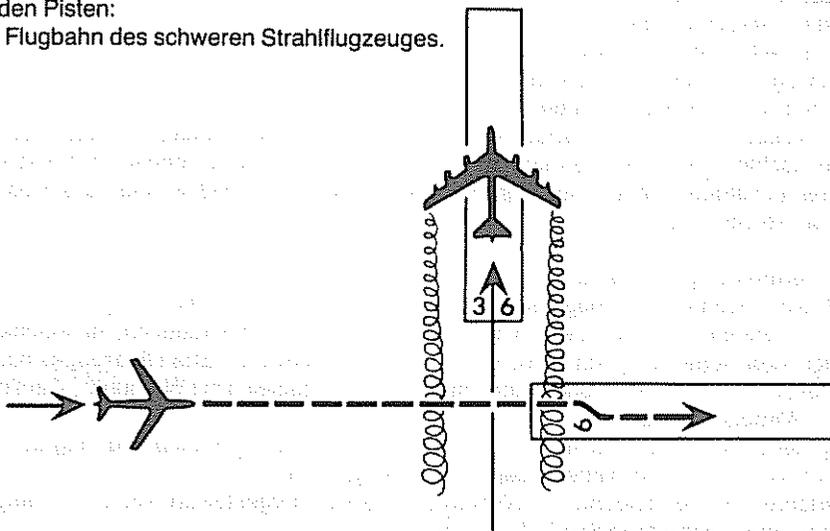
c) Landung hinter einem startenden schweren Strahlflugzeug auf gleicher Piste:

Merke Abhebezeitpunkt des schweren Strahlflugzeuges.
Lande erheblich vor diesem Abhebezeitpunkt.



d) Landung hinter einem schweren Strahlflugzeug auf sich kreuzenden Pisten:

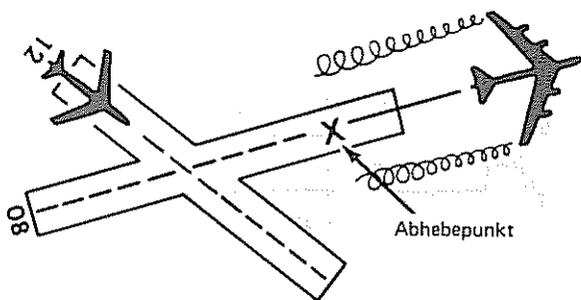
Kreuze über der Flugbahn des schweren Strahlflugzeuges.



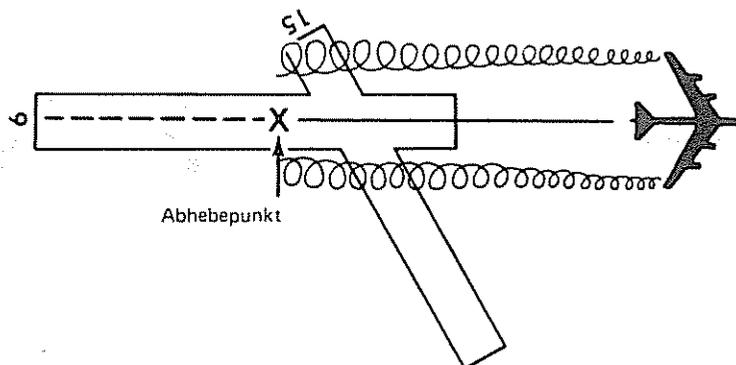
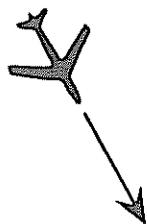
e) Landung hinter einem startenden schweren Strahlflugzeug auf sich kreuzenden Pisten

Abhebezeitpunkt nach dem Kreuzungspunkt:
Merke den Abhebezeitpunkt des schweren Strahlflugzeuges.
Setze den Anflug fort.

Lande vor dem Pistenkreuz.
Abhebezeitpunkt vor dem Kreuzungspunkt:
Vermeide das Unterfliegen seiner Flugbahn.



Brich den Anflug ab, sofern eine Landung vor Erreichen der Kreuzung nicht absolut gesichert ist.

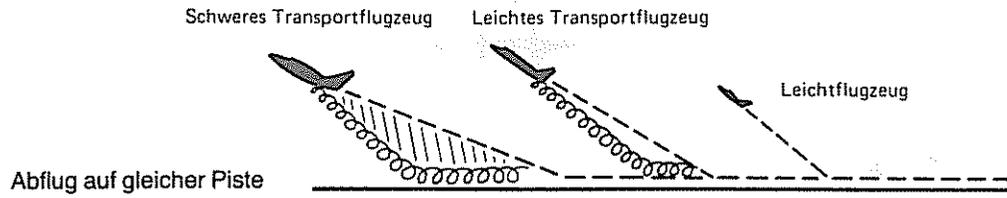


f) Abflug hinter einem schweren Strahlflugzeug

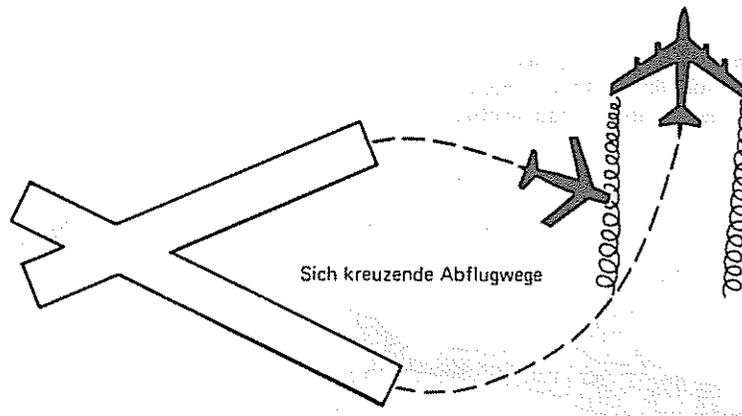
Merke den Abhebezeitpunkt des schweren Strahlflugzeuges.

Hebe Dich ab vor dem schweren Strahlflugzeug.

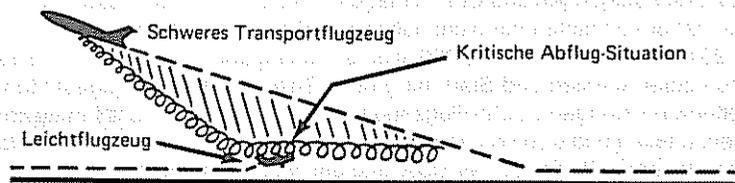
Setze den Steigflug über der Steigflugbahn des schweren Strahlflugzeuges fort, bis ein ungehindertes Abdrehen von der Wirbelschleife erfolgen kann.



Vermeide nachfolgende Kurse, welche unter und hinter der Flugbahn eines schweren Strahlflugzeuges kreuzen.



Sei wachsam bei jedem Abflug, welcher zu einem Zusammentreffen mit Wirbelschleppen führen kann.

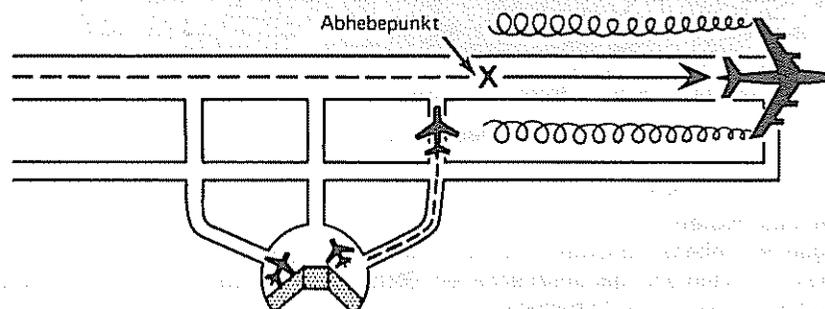


g) Abflug von der Rollweg-Einmündung

auf gleicher Piste:

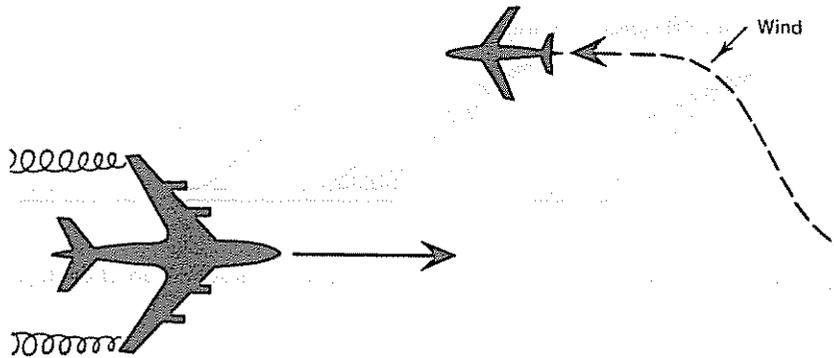
Sei wachsam, insbesondere bei Gegenwind, wenn sich auf Deiner Piste schwere Strahlflugzeuge bewegen.

Wenn der Abflug bei der Rollweg-Einmündung freigegeben worden ist, vermeide, die Flugrichtung des schweren Strahlflugzeuges unter seiner Flugbahn zu kreuzen.



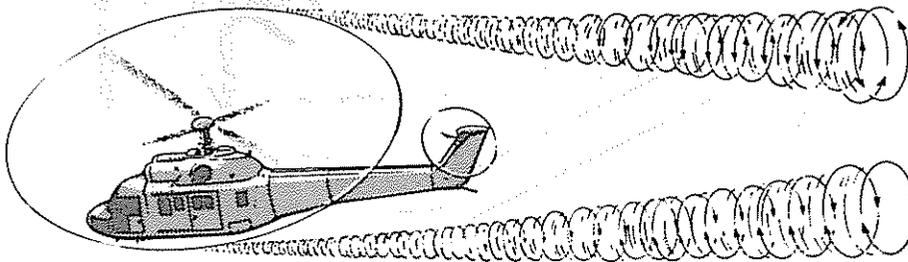
h) Unterwegs nach VFR (1'000 Fuß Höhe plus 500 Fuß = 300 m Höhe plus 150 m)

Vermeide (sofern überhaupt möglich) das Fliegen unter oder hinter der Bahn eines schweren Strahlflugzeuges. Wird ein schweres Strahlflugzeug über dem Kleinflugzeug auf gleicher Spur (gleiche oder umgekehrte Richtung) beobachtet, so versetze die Position seitlich, vorzugsweise gegen den Wind.



10. Hubschrauber

Ein schwebender Hubschrauber erzeugt mit seinem Hauptrotor-System einen Abwind, wie ähnlich vom konventionellen Luftfahrzeug ein Propeller-Luftstrom ausgeht. Dieser Abwind verwandelt sich dann beim Vorwärtsflug in ein Paar Wirbelschleppen, gleich wie die Flügelwirbel.



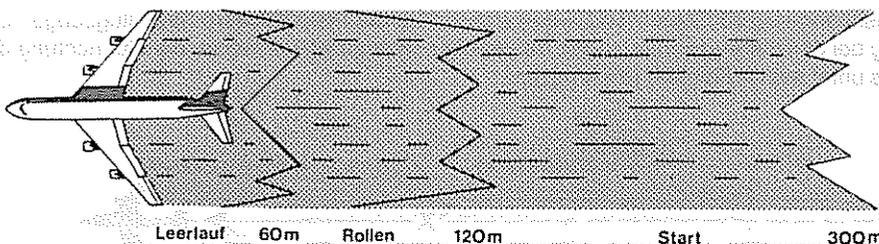
Hubschrauber-Wirbel

11. Luftstrom des Strahltriebwerkes

Während des Betriebes am Boden kann der Luftstrom von Strahltriebwerken (Schub-Strömungsturbulenz) in seinem Wirkungsbereich zu Beschädigungen und Überschlagen von Luftfahrzeugen usw. führen.

Leicht-Luftfahrzeuge sollten daher von hinten her nicht näher als 60 m an ein Strahlflugzeug, dessen Triebwerke sich im Leerlauf befinden, 120 m an ein rollendes und 300 m an ein abfliegendes Strahlflugzeug herankommen. Die von großen Strahlflugzeugen beim Anrollen und Start mit großer Geschwindigkeit ausgestoßenen Gase und die Abtrift der Trubulenz bei Seitenwind zwingen Leicht-Flugzeuge, die starten wollen, ganz hinten am Pistenrand oder auf der Rollweg-Haltelinie anzuhalten und sich von den möglichen Düsenstrahlungen fernzuhalten.

Für die vom Luftverkehr angeflogenen Flughäfen der USA sind die Normen für Haltelinien auf Rollwegen so festgelegt, daß deren Abstand von der Hartbelag-Pistenecke mindestens 30 m oder, wenn größer, der Spannweite des größten Flugzeuges, welches die Piste benützt, entspricht.



Einflussbereich des Schubstrahls

12. Verantwortlichkeit des Piloten

Gemeinsame Anstrengungen seitens Behörden und Industriegruppen gehen dahin, die Gefahren der Wirbelschleppen möglichst klein zu halten oder gar auszuschalten. Gleichwohl muß der Pilot bei VFR-Flügen die nötige Flugdisziplin wahren und aufmerksam die Wirbelgefahren meiden.