



Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH

Hermann-Prell-Str. 8
01324 Dresden

Tel.: +49 (0)351 / 273 26 03
Fax: +49 (0)351 / 273 26 04

www.gfl-consult.de

Datum

25.08.2015

Erläuterungen zum Gutachten zur Neu-Bewertung der Gefahren durch Wirbelschleppen am Flughafen Friedrichshafen vom 24.02.2015

Im Auftrag der Flughafen Friedrichshafen GmbH hatte GfL das Gutachten „Bewertung der Gefahren durch Wirbelschleppen am Flughafen Friedrichshafen“ in der finalen Version vom 24.02.2015 erstellt.

Im späteren Nachgang sind nun durch die Flughafen Friedrichshafen GmbH inhaltliche Nachfragen zum Gutachten an das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (MVI) formuliert worden. Diese weitestgehend außerhalb des seinerzeitigen Untersuchungsauftrags fokussierten Fragen werden nachfolgend beantwortet.

Frage 1: Warum sind die Wirbelschleppenvorsorgegebiete auf Grundlage von Schadenswahrscheinlichkeiten in Höhe von 25 m über dem Flughafenbezugspunkt berechnet worden, wenn es in den entsprechenden Gebieten überhaupt keine solchen Bebauungshöhen gibt?

Die Zonen des Gefährdungspotenzials für Gebäude stellen solche Gebiete dar, in denen eine Gefährdung von Gebäuden bedingt durch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens hinreichend starker Wirbelschleppen je Rasterzelle unter der Bedingung des festgelegten Windsog Grenzwertes gemäß Kapitel 4.4 des Gutachtens nicht auszuschließen ist. Sie wurden gemäß Tabelle 10 des Gutachtens [2] für verschiedene Untersuchungshöhen von 10 m, 25 m und 50 m berechnet und ausgewiesen. Dies beruht auf einer im Gutachten detailliert erläuterten wissenschaftlichen Methodik. Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Zonen des Gefährdungspotenzials für Gebäude mit Annäherung an den Boden kleiner werden. Dies wird durch den Bodeneffekt bedingt, der in Kap. 4.3.2 des Gutachtens [2] erläutert wurde. Um robuste Aussagen über die Gefährdung in Flugplatznähe zu erhalten, wurden Berechnungen für unterschiedliche Untersuchungshöhen durchgeführt und die Ergebnisse im Gutachten ausgewiesen.

Zur Prävention vor Gefahren für Gebäude wurden weiterführend je ein Wirbelschleppen-Vorsorgegebiet pro Betriebsrichtung vereinbart, in dem Vorsorgemaßnahmen durch den Flughafen in Form der Verklammerung von Dachziegeldächern vorgenommen werden sollen.

Diese Vorsorgegebiete beziehen sich straßengenau auf den Planungsfall 2020 und hier die Untersuchungshöhe 25 m. Gebäude/Flurstücke in deren Randbereich, die aber überwiegend innerhalb des Gebietes verortet sind, sollen dabei vollständig Berücksichtigung finden. Die Vorsorgemaßnahmen sind sodann unabhängig von der individuellen, tatsächlich realisierten Gebäudehöhe vorzunehmen, dem o. g. konservativen Ansatz in Bezug auf die Höhenauflösung folgend. Ohnehin sind innerhalb der Vorsorgegebiete keine signifikanten Höhenunterschiede in der Topographie gegeben (vgl. Kap. 2.5 im Gutachten). Im Nahbereich des Flughafens Friedrichshafen sind in der Vergangenheit Wirbelschleppenschäden aufgetreten. Im Umkreis des Flughafens Friedrichshafen sind diverse Gebäude mit Höhen oberhalb von 10 m festzustellen, zudem wurden nachweislich auch Gebäudeschäden an Gebäuden mit Firsthöhen > 10 m (hier in der Goettestr., Schwabstr., Maybachstr. und Ailinger Str. [3]) verzeichnet. Demnach wurde das Vorsorgegebiet auf Basis der Untersuchungshöhe von 25 m bestimmt.

Frage 2: Als relevante Bemessungsgröße wird im GfL Gutachten eine Höhe von 25 m angenommen (Seite 37). Wird eine größere Höhe zugrunde gelegt, vergrößert sich die berechnete Fläche, bei einer geringeren Höhe wird diese entsprechend kleiner. Die als am häufigsten unterstellten Gebäude mit Sattel,- bzw. Walmdach sind in der Regel deutlich niedriger. Welche Begründung gibt es, dass nicht mit der Bemessungsgröße 10 m gerechnet wurde? Andere Gutachten, wie z.B. betreffend den Flughafen Dortmund oder im Zusammenhang mit dem Flughafen Frankfurt Main (siehe Beschluss des VGH Kassel vom 29.07.2013- 9 B 1363/13.T), gingen von einer Höhe von 10 m aus. Höhere Gebäude könnten gesondert mit einbezogen werden.

Analog zu Frage 1 wird darauf hingewiesen, dass die beiden Zonen des Gefährdungspotenzials für Gebäude gemäß Tabelle 10 des Gutachtens [2] für Untersuchungshöhen von 10 m, 25 m sowie 50 m berechnet und dementsprechend höhenabhängig ausgewiesen wurden.

Die „Bemessungsgröße“ zur Dimensionierung des Vorsorgegebietes begründet sich mit der Höhe der Gebäude im Umkreis des Flughafens Friedrichshafen sowie Gebäudehöhen gemeldeter Wirbelschleppenvorfälle oberhalb von 10 m (siehe auch Abschluss Frage 1).

Im Gutachten wird als Ergebnis der Untersuchungen festgestellt, dass die derzeitigen Regelungen zur Prävention vor Gefahren für Gebäude durch Wirbelschleppen am Flughafen Friedrichshafen (FDH) nicht hinreichend erscheinen, da zahlreiche diesbezügliche Vorfälle außerhalb der Vorsorgegebiete eintraten. Infolge sollen – in Abstimmung mit dem Flughafenunternehmen - die Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete angepasst werden. Dies folgte in Ermangelung gesetzlicher Vorgaben zu maximal zulässigen derartigen Eintrittswahrscheinlichkeiten der konservativen Prämisse, alle Wirbelschleppenvorfälle der letzten 5 Jahre räumlich abgedeckt zu haben. Der Flughafenunternehmer beschreitet damit eine für die umliegende Bevölkerung fürsorgliche Strategie. Sollten nunmehr Zweifel zur Verhältnismäßigkeit der Gebiete aufkommen, so wäre eine exakte Bestandsaufnahme aller Gebäude in Bezug auf die Schwellenhöhe eine Möglichkeit, die Angemessenheit zu verifizieren. Das Gutachten folgte der Annahme, dass Gebäude höher als 10 m über Schwelle in den Gebieten existieren.

Grundsätzlich ist zu dieser Vorgehensweise bei der Bestimmung der Vorsorgegebiete zu berücksichtigen, dass in Bezug auf die Gefährdung durch Wirbelschleppen national und auch international keine Grenzwerte existieren. Im Rahmen des o. g. PFV Verfahrens [1] wurde zur Findung von Grenzwerten hier für den Sachverhalt *Externes Risiko* ein eigenes Gutachten erstellt (vgl. [7]). Die Festlegung von Wirbelschleppen-Vorsorgegebieten obliegt somit letztlich der zuständigen Genehmigungsbehörde.

Frage 3: Im Gutachten wurde vom Betrieb der A 300 und B 757 ausgegangen. Dies entspricht aber nicht dem aktuellen Stand. Der A300 ist im für den Flughafen relevanten Passagierverkehr nicht mehr im Einsatz, und es bestehen keine Pläne der am Flughafen Friedrichshafen operierenden Fluggesellschaften, die B757 zukünftig einzusetzen. Der Flughafen Friedrichshafen ist auf Grund seiner Betriebspflicht verpflichtet, Flugzeuge der Typen A 300 und Boeing 757 abzufertigen. Daher kommt es unserer Auffassung nach nicht darauf an, ob die aktuell am Flughafen operierenden Fluggesellschaften solche Flugzeuge einsetzen.

Diese Frage wurde im Rahmen der Anfrage der Flughafen Friedrichshafen GmbH vom 18. Juni 2015 wie folgt beantwortet: Der Flottenmix wurde aus dem DES entnommen (vgl. Quellen 4 und 5 im Gutachten). Würde man die B757 und die A300 vernachlässigen, sind kleinere Zonen des Gefährdungspotenzials für Gebäude und somit auch kleinere Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete zu erwarten, hierzu wären aber erneute Berechnungen erforderlich, Abschätzungen sind nicht verlässlich möglich.

Frage 4: Bei Berücksichtigung der bisher, mutmaßlich auf Wirbelschleppen zurückzuführenden Schäden der letzten 20 Jahre ist die von der GfL unterstellte Eintrittswahrscheinlichkeit ohne jeglichen Bezug zur Realität. Im neuen Vorsorgegebiet müsste demnach auch in den Randbereichen auf jeder Fläche von 12.500 m² (ca. 110 m x 114 m) ein Schaden eingetreten sein. Das ist nachweislich nicht der Fall. Es kann daher auch aus diesem Grund nicht nachvollzogen werden, auf welcher fachlichen Grundlage die von der GfL unterstellte Eintrittswahrscheinlichkeit hergeleitet wird.

Die Methodik der Wirbelschleppenmodellierung inkl. des Berechnungsmodells ist in Kapitel 4 des Gutachtens [2] detailliert erläutert. Es wird hinsichtlich der Gebäudegefährdung ein Gefährdungspotenzial bestimmt, dass in Kapitel 4.2 des Gutachtens wie folgt definiert wird:

Das *Gefährdungspotenzial* wird als Eintrittswahrscheinlichkeit pro Jahr einer *hinreichend kräftigen* Wirbelschleppe an einem bestimmten Ort unter Beachtung der signifikanten Einflussgrößen „vorherrschende Windgeschwindigkeiten“ und „Windrichtungen“ am Flughafen Friedrichshafen sowie unter der Randbedingung der Überschreitung eines Windsog Grenzwertes (Minimums) definiert. Es bestimmt sich als Produkt der Windwahrscheinlichkeit pro Jahr mal Flugbewegungen pro Jahr für alle Rasterpunkte (an allen Orten), an denen der Grenzwert erreicht bzw. überschritten werden kann.

Das *Gefährdungspotenzial* an einem bestimmten Ort wird nicht hergeleitet, sondern mittels des in Kapitel 4.6 erläuterten Berechnungsmodells für jede Rasterzelle berechnet.

Die in Abbildung 12 und 14 gemäß [2] dargestellten Zonen zeigen demnach jene Gebiete, in denen eine *Gefährdung* durch Wirbelschleppen in Form des Abhebens von Dachziegeln gegeben ist. Der resultierende Windsog innerhalb dieser Zone liegt hier in jeder Rasterzelle über dem zulässigen Windsog Grenzwert. Daraus wird diese *Gefährdung* abgeleitet. Die Eintrittswahrscheinlichkeit einer hierfür erforderlichen, *hinreichend kräftigen* Wirbelschleppe ist innerhalb dieser Zone aber nicht überall gleich. Dies ist bedingt durch die vorherrschenden Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen und die relative jeweilige Lage zum Lot der Anfluggrundlinie: In den von der Anfluggrundlinie lateral weiter entfernten Rasterzellen bedarf es offensichtlich einer höheren Windgeschwindigkeit, um die Wirbelschleppe noch bis zu dem jeweiligen Ort zu transportieren. Unter Beachtung der statistisch vorherrschenden Windrichtungen ergibt sich also eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit.

Fachlich handelt es sich also um Wahrscheinlichkeitsmodelle, die hier zur Anwendung kommen. Sowohl das Ausbleiben über viele Jahre als auch eine mögliche Häufung von

Vorfällen an einzelnen Orten um den Flughafen müssen also statistisch als „Möglichkeiten“ verstanden werden und erlauben keinen unmittelbaren Rückschluss auf die Korrektheit des Modells, da insgesamt mit recht selten Ereignissen gerechnet wird (10^{-2} pro Jahr = alle 100 Jahre). Der gewählte wissenschaftliche Ansatz ist dabei durch umfängliche Veröffentlichungen (siehe Quellenverzeichnis des Gutachtens [2]) gestützt.

Frage 5: Im Gutachten der GfL wird eine Gebäudegefährdung unterstellt, sobald der spezifische Abhebewiderstand des Dachs nicht mindestens genauso hoch ist wie die errechnete Sogwirkung (Seite 30-34). Für den schlechtesten Fall wird mit einem Eigengewicht des Daches von 30 kg/m^2 gerechnet. Das ist nachweislich eher sehr leicht und mit Sicherheit nicht der Durchschnitt in der Realität. Im Gebiet werden somit auch Dächer einbezogen, deren Grenzwert sicher nicht überschritten wird. In unserem Telefonat haben Sie mich auf die Publikationen der Fraport AG zum Thema Wirbelschleppenvorsorge aufmerksam gemacht. Aus einer Broschüre der Fraport konnte ich entnehmen, dass bei Vornahme einer Verklammerungsmaßnahme ein Abhebewiderstand von $1,4175 \text{ kN/m}^2$ erreicht werden soll. Vor diesem Hintergrund soll bitte vertieft begründet werden, dass die Herleitung des spezifischen Abhebewiderstandes durch das Eigengewicht der Dachziegel von $0,17 \text{ kN/m}^2$ korrekt ist.

Die Herleitung des Grenzwertes wird in Kap. 4.4 des Gutachtens [2] detailliert erläutert: Für die Grenzwertbestimmung sind Dachform und Dachneigung entscheidend. Hierzu wird die im Bereich des Flughafens Friedrichshafen nachweislich weit verbreitete Bauform eines Sattel- bzw. Walmdachs mit einer Dachneigung von $45^\circ - 65^\circ$ zugrundegelegt (vgl. [3] aus 1999). In Bezug auf die Festigkeit des Verbundes wird konservativ die minimal erforderliche Abhebekraft gemäß „Dachbereich I“ (Innen, Bereich 2 gemäß Fachregeln [4]) zugrunde gelegt.

Zudem ist für die Bestimmung des Grenzwertes das spezifische Gewicht der Deckung pro Fläche (Masse und Anzahl der Dachziegel/-steine) erforderlich. Dieses variiert stark hinsichtlich Hersteller und Modell. Für die im Gutachten [2] durchgeführten Berechnungen wird wiederum im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung ein hiernach verhältnismäßig leichtes Modell mit $0,3 \text{ kN/m}^2$ (entsprechend einer Masse von 30 kg/m^2) ohne Lattung (beispielsweise Harzer Pfanne der Firma Braas) unterstellt. Gemäß Gleichung 8 im Gutachten [2] ergibt sich für dieses ein spezifischer Abhebewiderstand von $0,17 \text{ kN/m}^2$ (entsprechend 17 kg/m^2). Im Rahmen des PFV Verfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main wurde ein Dachsicherungsprogramm aufgelegt wie folgt [6]: *„...Aus dem Schutzziel, Dachdeckungen gegen wirbelschleppenbedingte Windböen zu sichern, ergibt sich die Anforderung, die gesamte Dachfläche gegen Sogkräfte von 1.050 N/m^2 (charakteristischer Wert) zu sichern. Unter Hinzurechnung des Sicherheitsbeiwertes von 1,35 ist der Abhebewiderstand von $1417,50 \text{ N/m}^2$ für die gesamte Dachfläche herzustellen...“*

Die Herleitung dieses Grenzwertes als auch die Anwendung des Sicherheitsbeiwertes sind nicht angegeben, so dass eine Einordnung hier nicht möglich ist. Der o.g. Grenzwert wird gemäß Gleichung 8 des Gutachtens transparent [2] ermittelt.

Die Worst-Case-Betrachtung begründet sich wie folgt:

- Dachart: Gemäß [3] sind 90 % der im Nahbereich des Flughafens befindlichen Gebäude mit Dachziegeln und Dachsteinen gedeckt.
- Dachbereich: Gemäß [3] sowie weiteren Analysen zu Dachschäden bedingt durch Wirbelschleppen [5] sind Wirbelschleppen-Dachschäden vornehmlich im Innen- sowie Oberbereich des Daches festzustellen.
- Gewicht: Detaillierte, umfängliche Angaben zum Zustand der Dächer im Nahbereich des Flughafens Friedrichshafen liegen nicht vor. Infolge muss im Sinne des

Vorsorgegedankens von einem verhältnismäßig geringen spezifischen Gewicht der Dachziegel ausgegangen werden.

Neben den o.g. Parametern ist zudem die Geländekategorie von Bedeutung. Hier wurde die Geländekategorie IV (Stadtgebiete, bei denen mindestens 15% der Fläche mit Gebäuden bebaut sind) unterstellt.

Diese Vorgaben ergeben den Grenzwert für Gebäudegefährdung und haben damit Auswirkungen auf die Größe der ermittelten Zonen. Die im Gutachten vorgeschlagenen Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete umfassen jedoch nur einen Bruchteil des Gesamtgebietes im Inneren der Zone des Gefährdungspotenzials für Gebäude und bleiben demnach hiervon unberührt.

Frage 6: Technische Weiterentwicklungen bei Flugzeugen, wie Sharklets oder moderne Winglets führen durch die Reduktion des induzierten Widerstandes zu reduzierten Treibstoffverbräuchen. Der induzierte Widerstand entsteht durch Ablösungen an den Tragflächen. Im Gutachten wird auf diese Entwicklungen ohne nähere Begründung jedoch nicht eingegangen und nicht erläutert, ob diese Entwicklungen eine Wirbelschleppen reduzierende Wirkung haben oder nicht. Wir sind der Auffassung, dass es auf die heute am Flughafen Friedrichshafen verkehrenden Flugzeugmuster ankommt. Außerdem muss daran erinnert werden, dass die Boeing 737-800, welche die letzten vier aktenkundigen Wirbelschleppenschäden verursacht hat, mit Winglets ausgestattet ist.

Diese Frage wurde im Rahmen der Anfrage der Flughafen Friedrichshafen GmbH vom 18. Juni 2015 wie folgt beantwortet: Hierzu sind Forschungen im Gange, u. a. in Deutschland durch das DLR. Aktuell ist festzustellen: Die Wirbelschleppe entsteht über die gesamte Tragfläche (siehe Seite 24 im Gutachten [2]). Winglets werden hingegen (nur) Einfluss auf die Einzelwirbel an den Tragflügelenden haben, die im Ergebnis insofern vermutlich nicht zu einer signifikanten Verringerung der Zonen des Gefährdungspotenzials und somit zu signifikant kleineren Wirbelschleppen-Vorsorgegebieten führen.

Frage 7: Auf welcher wissenschaftlichen Basis beruht der quadratische Untersuchungsraum auf 20 km x 20 km zentriert um den Flughafenbezugspunkt (Seite 13 des Gutachtens)?

Der Untersuchungsraum folgt rein deduktiv derart, dass alle *relevanten Ergebnisse* (hier Wirbelschleppen entlang des Endanflugsegments einerseits, maximale seitliche Verdriftung der Wirbelschleppe andererseits) entsprechend abgebildet und die Auswertung vollständig erfolgen. Er hat insofern keine direkten Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Frage 8: Ist es insbesondere unter Wahrscheinlichkeitserwägungen sachgerecht und wenn ja warum, durchgehend von dem im Gutachten auf 26, Absatz 4 skizzierten Atmosphärenzustand auszugehen?

Im Gutachten wird hinsichtlich des Atmosphärenzustandes folgendes festgelegt:

Allgemein nachgewiesen ist, dass maximale Lebensdauern von Wirbelschleppen in ruhiger, neutral geschichteter Atmosphäre aufgrund dann geringer energetischer Wechselwirkung mit der Atmosphäre erreicht werden [8]. Dieser Erkenntnis wird im Gutachten insofern Rechnung mit einem derartigen Atmosphärenzustand getragen (vgl. Kapitel 5 im Gutachten [2]).

Meteorologische Daten über den jeweiligen Atmosphärenzustand liegen immer nur für vereinzelte Messpunkte und zudem häufig „nur“ als statistische Mittelwerte vor. Demnach unterliegt der Zerfall der Wirbelschlepe bis zu einem gewissen Grad zufälligen Prozessen [9], [10]. Abhilfe können hier probabilistische Verhaltensmuster (Beschreibung als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion) schaffen, die mittels umfangreicher Messkampagnen zunächst parametrisiert werden müssen. Eine derartige Parametrisierung liegt allgemein für eine ruhige, neutral geschichtete Atmosphäre vor (siehe Querverzeichnis des Gutachtens [2]) vor, die Grundlage der Modellierung im Gutachten wurde.

Frage 9: Sind die auf Seite 34f. des Gutachtens gemachten Aussagen betreffend der Ableitung des Grenzwertes für Personengefährdung wissenschaftlich belastbar? Sind Wirbelschleppen von in Friedrichshafen operierenden Flugzeugen überhaupt mit Sturmstärke 9 vergleichbar? Sind die angewendeten Wirbelschleppenmodelle überhaupt geeignet, um eine Modellierung bis auf 5 m Höhe belastbar vorherzusagen?

Der Herleitung des Grenzwertes der Personengefährdung ist Kapitel 4.5 des Gutachtens [2] zu entnehmen. Zu Beurteilung der Wirkung von Böen auf Personen werden gestützt auf wissenschaftliche Untersuchungen generell zwei wesentliche Kriterien unterschieden: *Windkomfort* und *Windgefahr* [11]. Für beide Kriterien existieren Grenzwerte, die im Wesentlichen auf empirischen Erfahrungen beruhen und sich jeweils aus maximaler Windgeschwindigkeit und deren maximal zulässiger Überschreitungswahrscheinlichkeit (bspw. pro Jahr) ergeben. Der gewählte Grenzwert bezieht sich dabei auf die maximale Geschwindigkeit einer Böe, da es sich bei Wirbelschleppen um kurzzeitige, hochdynamische Windfelder handelt, die mit Böen vergleichbar sind.

Für die Personengefährdung wird in [2] folgeschlüssig auf das Kriterium *Windgefahr* abgestellt. Demnach bleiben etwaige Komforteinbußen ausgehend von Wirbelschleppen unberücksichtigt, da nicht sicherheitsrelevant. Das Gutachten ist wissenschaftlich durch eigene Simulationen und wissenschaftlich umfangreiche Quellenarbeit (83 Quellen) belastbar.

Hinsichtlich der Ausbreitung von Wirbelschleppen im Nahbereich des Bodens liegen ebenfalls umfangreiche aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen (siehe Quellenverzeichnis in [2]) vor, die eine verlässliche Methodik zur Modellierung der Ausbreitung von Wirbelschleppen in Bodennähe aufzustellen gestatten. Die vorliegende Methodik wurde u. a. auch in vergleichbarer Weise im Gutachten zum Gefährdungspotenzial durch Wirbelschleppen an der 3. Start- und Landebahn des Flughafens München [12]) im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens 3. Start- und Landebahn am Flughafen München angewandt.

Frage 10: Sind im Hinblick auf die Ausführungen des Gutachtens auf Seite 35f. auch weitere äußere Einflüsse in das dortige Berechnungsmodell eingegangen, die die „Lebensdauer“ der Wirbelschleppen verkürzen, z.B. Wirbel sehr schnell auflösen, wenn sie mit dem Boden oder Aufbauten etc. in Berührung kommen?

Eingangsparameter der Berechnung sind (vgl. [2]):

- Geografische Koordinaten (FBP und Schwellenkoordinaten),
- Verkehrszahlen (Landungen) im DES-Format,
- Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung am Flughafen Friedrichshafen,
- LFZ-Parameter gemäß Kapitel 4.3.3 des Gutachtens [2] und
- Umgebungsparameter (hier atmosphärische Randbedingungen).

Gemäß Kapitel 4.6 des Gutachtens [2] wird die Gefährdung durch eine Wirbelschlepe mittels der Einflussgrößen Wind am Flughafen auf Basis meteorologischer Daten des DWD und weiterer atmosphärischer Randbedingungen im Untersuchungsraum bestimmt (vgl. hierzu Frage 8).

Weitere „äußere“ Einflussgrößen liegen nicht vor. Das Auftreffen der Wirbelschleppen auf Gebäude wird nicht spezifisch modelliert, sondern die „Berührung“ der Wirbelschleppen mit dem Boden wird im sog. Bodeneffekt berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3.2 des Gutachtens [2]). Der Bodeneffekt führt hier zu einer kontinuierlichen Abnahme der Wirbelstärke mit der Höhe.

Frage 11: In der Bewertung der ohnehin schon durch mehrere Worst-Case Ansätze geprägten Ergebnisse (Seite 47 ff. des Gutachtens) werden sehr konservative Ansätze gewählt. In dem von der GfL selbst zitierten Gutachten zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main hat der Gutachter ein Wirbelschleppenrisiko von 10^{-7} zugrunde gelegt. Internationale Akzeptanzwerte für das individuelle Risiko, als Individuum eines Flugzeugabsturzes zu Tode zu kommen, sieht das GfL Gutachten im Bereich von 10^{-5} . Da das Gefährdungspotenzial, d.h. die Verletzungswahrscheinlichkeit pro Individuum bei Wirbelschleppenvorfällen geringer sei, sei ein Risiko von 10^{-3} bis 10^{-4} pro Jahr als akzeptabel anzusehen. Allerdings würde dies unterstellen, dass bei jedem Wirbelschleppenvorfall herabfallende Dachziegel zu verzeichnen wären, was eine signifikante Überschätzung darstellt. Dennoch wird von der GfL sodann die maximale Eintrittshäufigkeit einer Wirbelschlepe mit Überschreitung des Windsog-Grenzwertes mit einem Erwartungswert von 10^{-2} festgelegt. Wie ist dies wissenschaftlich zu rechtfertigen? Stellt dies noch eine wissenschaftlich akzeptable Abbildung der Wahrscheinlichkeit von Wirbelschleppenschäden dar, insbesondere vor dem Hintergrund, dass bereits mehrfach im Gutachten mit Worst-Case-Annahmen gearbeitet wurde?

Die Berechnung der Zonen des Gefährdungspotenzials beruht auf einem wissenschaftlichen Ansatz, der durch umfängliche Veröffentlichungen (siehe Quellenverzeichnis des Gutachtens [2]) gestützt wird (vgl. Frage 4). Die Abbildungen 12 und 14 zeigen als Ergebnis der Analysen diese Zonen für Gebäude in einer Untersuchungshöhe von 25 m. Das *Gefährdungspotenzial* wird als Eintrittswahrscheinlichkeit pro Jahr einer *hinreichend kräftigen* Wirbelschlepe an einem bestimmten Ort unter Beachtung der signifikanten Einflussgrößen „vorherrschende Windgeschwindigkeiten“ und „Windrichtungen“ am Flughafen Friedrichshafen sowie unter der Randbedingung der Überschreitung eines Windsog Grenzwertes (Minimums) definiert. Dieser Grenzwert repräsentiert jenen Windsog, ab dem der wirkende Unterdruck der Wirbelschlepe das Ablösen von Dachziegeln rechnerisch erlaubt. Innerhalb dieser Zone ist demnach rechnerisch eine Gefährdung durch Wirbelschleppen gegeben.

In dem von GfL/DAC erstellten Gutachten Anhang II.1 „Auswirkungen von Wirbelschleppen am Flughafen Frankfurt Main“ zu dem Gutachten G1, „Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) und Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP)“ des Planfeststellungsverfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main [1] werden ebenfalls Zonen des Gefährdungspotenzials für Gebäude ausgewiesen. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten werden hier bis zu einem Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr ausgewiesen und bilden somit die Zone des Gefährdungspotenzials gemäß GfL/DAC Gutachten. Im vorliegenden Gutachten [2] am Flughafen Friedrichshafen erfolgt auch eine Ausweisung der Eintrittswahrscheinlichkeiten $< 1 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Dieser Wert ist demnach kein Grenzwert. Es werden im Frankfurter Verfahren durch GfL gemäß [1] zudem keine Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete ausgewiesen. Dies war nicht Gegenstand des Gutachtens.

Der Grenzwert zur Bestimmung der Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete resultiert aus der Empire mittels der Vorgaben, dass bisherige Zonen abgedeckt und bestehende Gebiete nicht verkleinert werden und alle Wirbelschleppenvorfälle der letzten 5 Jahre abgedeckt sind.

Im vorliegenden Gutachten [2] wurden nunmehr Analysen zur Akzeptanz der ermittelten Gefährdungspotenziale angestellt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass für die Gefährdung durch Wirbelschleppen national und auch international keine Grenzwerte existieren. Im Regelfall ist bedingt durch das Schadensbild bei Wirbelschleppenschäden (vgl. Kapitel 4.4) zu erwarten, dass durch möglicherweise herabfallende Dachziegel eine Verletzungsgefahr für Personen nicht auszuschließen ist¹. Aus Gutachtersicht wird demzufolge ein durch Wirbelschleppen generiertes Gefährdungspotenzial, d.h. Verletzungswahrscheinlichkeit pro Individuum im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-4} pro Jahr als akzeptabel angesehen (siehe Ausführungen gemäß [2]). Dies würde jedoch unterstellen, dass bei jedem Wirbelschleppenvorfall herabfallende Dachziegel zu verzeichnen wären, was sicher eine signifikante Überschätzung darstellt.

Folgt man dem in [2] dargestellten Ansatz, dass die o.g. Akzeptanzschwelle hinsichtlich der Verletzungswahrscheinlichkeit sicher eine Überschätzung darstellt, so sollten die Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete zumindest so dimensioniert sein, dass die Zonen, in denen Wirbelschleppenschäden zu verzeichnen waren, möglichst abgedeckt sind. Diese Vorgabe ist also keine wissenschaftliche Erkenntnis, sondern eine deduktive (ex-post) Randbedingung zur Festlegung sinnvoller Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete.

Frage 12: Ist es wissenschaftlich gerechtfertigt, die Vorsorgegebiete nicht grundstücksbezogen, sondern straßenbezogen festzulegen?

Die straßenbezogene Festlegung der Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete war eine Maßgabe des Untersuchungsauftrages. Eine grundstücksbezogene Festlegung der Wirbelschleppen-Vorsorgegebiete wird im Rahmen des Abwägungsprozesses ebenfalls als zulässig bewertet, da die Auflösungsanforderungen (Diskretisierung) vergleichbar sind.

¹ Verletzungen mit Todesfolge lassen sich hierbei nicht gänzlich ausschließen, sind jedoch sehr unwahrscheinlich.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] GESELLSCHAFT FÜR LUFTVERKEHRSFORSCHUNG MBH: *Gutachten G1 „Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) und Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP)“, Anhang II.1 „Auswirkungen von Wirbelschleppen am Flughafen Frankfurt Main“*. Berlin, November 2006
- [2] GESELLSCHAFT FÜR LUFTVERKEHRSFORSCHUNG MBH: *Bewertung der Gefahren durch Wirbelschleppen am Flughafen Friedrichshafen*“. Dresden, 24.02.2015
- [3] SCHÄNZER G., PEIL U., Email „Analyse der Wirbelschleppenproblematik im Anflugbereich des Flughafens Friedrichshafen und Erörterung von Maßnahmen zu deren Entschärfung“, Braunschweig, Juli 1999
- [4] MAßONG, F.: *Windsogsicherung am geneigten Dach: Grundlagen – Berechnungen – Projekte*. 1. Auflage, Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2012. ISBN: 9783481025007
- [5] BAA: *Environment Workshop 1997*. Vortrag BAA Heathrow, Paris, 1997
- [6] FRAPORT AG: *Ausführungsbeschreibung zur Sicherung von Dacheindeckungen gemäß Planergänzungsbeschluss des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung vom 26. Mai 2014 in Verbindung mit Planergänzungsbeschluss vom 10. Mai 2013*. August 2014
- [7] KHP, Referenzierung des externen Risikos infolge neuer Landebahn am Flughafen Frankfurt Main, G16.4, Frankfurt am Main, 13.12.2006
- [8] HOLZÄPFEL, F.: *A Probabilistic Two-Phase Wake Vortex Decay and Transport Model*. Journal of Aircraft, Vol. 40, No. 2, pp. 323-331, 2003
- [9] HENNMANN, I.: *Deformation und Zerfall von Flugzeugwirbelschleppen in turbulenter und stabil geschichteter Atmosphäre*. Oberpfaffenhofen, 18. November 2009
- [10] HOLZÄPFEL, F., ROBINS, R. E.: *Probabilistic Two-Phase Aircraft Wake-Vortex Model: Application and Assessment*. Journal of Aircraft, Vol. 41, No. 5, pp. 1117-1126, 2004
- [11] JANSSEN, W. D.; BLOCKEN, B.; van Hooff, T.: *Pedestrian Wind Comfort Around Buildings: Comparison of Wind Comfort Criteria Based on Whole-Flow Field Data for a Complex Case Study*. Publication in Building and Environment, October 2012
- [12] HOLZÄPFEL, F. ; GERZ, T.: *Gutachten zum Gefährdungspotenzial durch Wirbelschleppen an der 3. Start- und Landebahn des Flughafens München*. Planfeststellungsverfahren 3. Start- und Landebahn Flughafen München, Oberpfaffenhofen, 10. Juli 2007